

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

Um Modelo Dinâmico para Integração da Gestão da
cadeia de abastecimento sob Incerteza

TESE SUBMETIDA À UFPE
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR
POR

OSMAR VERAS ARAUJO

Orientador: Fernando Menezes Campello de Souza, PhD.

RECIFE, DEZEMBRO/2008

A663m Araujo, Osmar Veras.
Um modelo dinâmico para integração da Gestão da cadeia de abastecimento sob incerteza / Osmar Veras Araújo. - Recife: O Autor, 2008.
93 folhas, il : grafs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2008.

Inclui bibliografia e Apêndice.

1. Engenharia de Produção. 2. Cadeias de Abastecimento. 3. Previsão de Demanda. 4. Previsão de Demanda. 5. Teoria das Restrições. 6. Economia Insumo-Produto. I. Título.

UFPE

658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2009-025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE

OSMAR VERAS ARAUJO

**“UM MODELO DINÂMICO PARA INTEGRAÇÃO DA GESTÃO DA CADEIA DE
SUPRIMENTO SOB INCERTEZA”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PESQUISA OPERACIONAL

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato **OSMAR VERAS ARAUJO APROVADO**.

Recife, 30 de dezembro de 2008.

Prof. FERNANDO MENEZES CAMPELLO DE SOUZA, PhD (UFPE)

Prof. ENRIQUE ANDRÉS LÓPEZ DROGUETT, PhD (UFPE)

Prof.^a ANA PAULA CABRAL SEIXAS COSTA, Doutor (UFPE)

Prof. ANDRÉ MARQUES CAVALCANTI, Doutor (UFPE)

Prof. ALEXANDRE STAMFORD DA SILVA, Docteur (UFPE)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos, como eu, não se conformam em verificar que, apesar de tantos avanços tecnológicos, alguns (para não dizer muitos) não sabem aplicar técnicas simples e eficazes para reduzir os seus custos e melhorar o desempenho de seus negócios, enquanto isso o mundo se transforma, juntamente com os clientes.

AGRADECIMENTO

É injusto ter que restringir os agradecimentos a algumas pessoas, mas desde que temos que fazê-lo, a homenagem será para alguns, porém o agradecimento pe para todos que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

Gostaria de agradecer ao professor Fernando Campello por suas orientações, mas principalmente por sua atitude sempre otimista sobre os trabalhos dos seus alunos. Esta forma de trabalhar deixa qualquer pessoa que trabalhe com ele preparado para dedicar-se a qualquer trabalho, mesmo aqueles mais áridos.

Outra pessoa importante foi a minha esposa Patricia pela sua paciência quanto a data de término do meu trabalho, o qual me motivou a terminá-lo o mais rápido que pude.

Agradeço a minha mãe pelo apoio com os meus filhos Renata e Thiago, afinal de contas, eles são o meu maior combustível.

Finalizo com um agradecimento ao professor Adiel Teixeira pelo seu constante apoio em todas as ações desenvolvidas dentro e fora do programa de pós-graduação.

RESUMO

Muitas são as necessidades dos profissionais da área de operações quanto a necessidade de encontrar soluções simples para problemas complexos. Como todo processo de evolução, o desabrochar de respostas para perguntas recorrentes é duro e difícil de ser compreendido. Explorando este pensamento, desenvolveu-se o trabalho corrente que tem como cerne a busca por uma solução no tocante a melhoria da qualidade do planejamento de necessidades produtivas de uma cadeia de abastecimento. Num primeiro passo, transcorre-se sobre a dificuldade de alguns gestores em compreender o uso de soluções assistidas por modelos matemáticos para planejar os processos. Num segundo momento, analisa-se os problemas inerentes às cadeias de suprimentos e propõe-se um modelo para o seu estudo e operação, baseado numa versão dinâmica da matriz *input-output* de Leontief. O texto está dividido em três grandes partes: uma que discorre sobre a necessidade de analisar de forma mais fina os processos de gestão da demanda, pois eles balizam o planejamento de operações nos níveis estratégico, tático e operacional; outro assunto tratado é o dimensionamento de gargalos e gerenciamento dos processos em que eles estão contidos, pois os gargalos controlam as operações produtivas; por último, o texto trata da otimização da cadeia de abastecimento através do estudo da matriz insumo-produto e uma aplicação de programação dinâmica ao sistema produtivo dimensionado por esta matriz. Finalmente o trabalho culmina com a proposta de um algoritmo para desenvolvimento de um processo de planejamento de operações integrado, onde o objetivo do plano gerado é garantir a eficiência dos resultados e um processo de implantação o mais suave possível. Simula-se um caso de cadeia de suprimentos com duas empresas, implementado em uma planilha eletrônica, cujo CD encontra-se em anexo ao trabalho.

Palavras-Chave: *Supply Chain*, Cadeias de Abastecimento, Previsão de Demanda, Teoria das Restrições, Economia Insumo-Produto.

ABSTRACT

There are many needs of people in operations to find simple solutions for complex problems. Like all evolution process, the construction of new answers for frequent questions may be hard and difficult to be understood. Considering this idea, the following text was developed focused on improve quality of planning process of capacity needs in a supply chain. First step threat difficulties that many managers have to understand the use of mathematical models in planning. Going forward, the text analyses problems about supply chain working and propose a new model for studies and operations based in a dynamic version of input-output matrix of Leontief. Previewing the needs to improve as an integrated solution the input and output operations in a supply chain, this work analyse common problems that are useful to develop operational indicators for logistics and operations managers. The text is divided in three majors parts: at start the needs of a fine analysis in sales forecast management, considering that it guide all operation plans in a strategic, tactical and operational environment; other point written was bottleneck dimensioning and process management included, after all bottleneck control the supply chain; at last, dynamic optimization was treated combined with input-output matrix, in order to define a integrated response in supply chain. Finally the job finish with an algorithm proposed to develop an integrated operations planning that guarantee efficiency in results and smooth as possible implementing process. It is simulated a case of a supply chain with two companies, implemented by a electronics worksheet.

Keywords: Supply Chain, Sales Forecast, Theory of Constraints, Input-Output Economy.

Sumário

1	Relevância do Estudo e Objetivos	1
1.1	Objetivos	3
1.2	Metodologia	3
1.3	O Modelo Desenvolvido	4
2	Evolução da Atividade Produtiva	6
2.1	Artesanal	7
2.2	Manual	7
2.3	Mecânica	8
2.4	Fordismo	9
2.5	Ohnismo	11
2.6	Tecnologia da Informação - TI	14
3	Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento	16
3.1	Histórico	17
3.2	Visão estratégica	18
3.2.1	Terceirização	20
3.2.2	Fornecedores	21
3.2.3	Descentralizar a produção	23
3.3	Realidades e Pontos de Vista	24
4	Gerenciamento da Demanda	26
4.1	Modelos de Previsão de Demanda	27
4.1.1	Análise da Demanda	28
4.2	Algoritmo de Análise da Demanda	29
4.2.1	Determinação do valor da demanda	29
4.2.2	Análise da Tendência	30
4.2.3	Ajuste da Demanda	31

5	Gerenciamento de Estoques no Supply Chain Integrado Utilizando Incerteza	33
5.1	Efeito Forrester ou Efeito Chicote	33
5.2	Incertezas no Fornecimento	35
5.2.1	Atraso nas entregas	37
5.2.2	Faltas	38
5.3	Cálculo do fator de atendimento	38
6	Integrando os Elos da Cadeia de Abastecimento	41
6.1	A visão geral do problema	41
6.2	O problema a ser estudado	43
6.3	Gerenciamento por indicadores	43
6.3.1	Identificação de indicadores	44
6.3.2	Análise de Restrições	46
6.4	Encontrando Ótimos Globais	50
7	A Estrutura Dinâmica de uma Cadeia de Suprimentos	53
7.1	A Matriz Insumo-Produto	54
7.2	A Matriz Insumo-Produto Técnica	56
7.3	A Análise Estrutural da Matriz Insumo-Produto de uma Cadeia de Suprimentos	56
7.4	Formulação Matemática da Matriz Insumo-Produto de uma Cadeia de Suprimentos	61
7.4.1	Tabela Insumo-Produto Técnica	62
7.5	A Triangularização	62
7.6	A Demanda, a Oferta, a Realimentação (<i>Feedback</i>) e a Dinâmica de uma Cadeia de Suprimentos	64
7.6.1	O Uso do Modelo	69
7.6.2	A Introdução da Incerteza	71
7.7	O Cálculo Numérico da Matriz de Transição de Estado de Um Sistema Dinâmico Linear	71
7.7.1	Discretização do Modelo	72
7.7.2	Exemplo de Discretização	73
7.8	Relações entre Variáveis em Unidades Físicas e Unidades Monetárias	74
7.9	Otimização da Cadeia de Suprimentos para relações monetárias na Matriz Insumo-Produto	75

8	Simulação do Modelo	78
8.1	Entrada de Dados	78
8.2	Condição de Estabilidade	79
8.3	Geração Demanda	80
8.4	A matriz B	80
8.5	A matriz K	81
8.6	Funcional Objetivo	81
8.7	Conclusão da Simulação	82
9	Conclusões e Sugestões	83
9.1	Resultados Obtidos	85
9.2	Sugestões	86
	Apêndice A Mapa das Causas Prováveis	92
	Apêndice B Resultados da Simulação	93
	Apêndice C Simulação Matriz B - Estoque Zero	98
	Apêndice D Simulação Matriz K - Valores positivos	100

Lista de Figuras

1.1	Algoritmo	5
2.1	Curva de Aprendizagem	11
3.1	Dinâmica da Cadeia de Abastecimento	24
4.1	Algoritmo para Previsão da Demanda	30
5.1	Efeito Forrester ou Efeito Chicote	34
5.2	Gerenciamento dos Estoques	40
6.1	TOC aplicada a Cadeia de Abastecimentos	50
6.2	Dinâmica dos Processos Produtivos	51
6.3	Otimização Dinâmica	52
7.1	Interdependência completa.	58
7.2	Padrão aleatório.	59
7.3	Padrão hierárquico.	59
7.4	Bloco triangular.	60
7.5	Transformação do bloco triangular.	60
7.6	Especialização completa.	61
7.7	Diagrama de Blocos do Modelo Dinâmico de <i>supply Chain</i>	66
7.8	Cadeia de Abastecimento	76
8.1	Planilha Usuário — Modelo Matriz IO Dinâmica	80
9.1	Algoritmo de Funcionamento	84

Lista de Tabelas

2.1	Diferenças entre Taxa de Produção e Tempo de Ciclo	13
3.1	Estrutura da Incerteza na Cadeia de Suprimentos	19
5.1	Distribuição Discreta dos Atrasos nas Entregas	37
7.1	Matriz insumo-produto de uma cadeia de suprimentos.	55
7.2	Os coeficientes técnicos de insumo-produto.	56

1 Relevância do Estudo e Objetivos

"Onde há uma vontade, há um caminho".

Provérbio Chinês

Desde o dia que o homem sentiu fome e frio pela primeira vez, ele vem se deparando com problemas relativos a obtenção de suprimentos, sua armazenagem, distribuição/partilha quando na convivência em grupos e movimentação destes suprimentos nos períodos de êxodo e exílio. Visto ser esta uma das atividades primordiais para sua sobrevivência e do grupo (família ou estado), muitas soluções foram imaginadas para agilizar a tomada de decisão e simplificar a maioria destas tarefas.

No princípio, com um número pequeno de pessoas, grupos bastante reduzidos e distâncias relativamente pequenas, o planejamento de tarefas era fácil de ser engenhado e rapidamente posto em prática. Só era preciso o conhecimento de conceitos básicos de aritmética que estaríamos cobrindo cerca de 100% de todas necessidades de contagem.

Com o advento das guerras para conquistas de novos territórios, o processo de abastecimento ganha um grau de complexidade maior, ou seja, o número de pessoas movimentadas é muito grande e por isso a quantidade de alimentos, medicamentos, acomodações móveis e armas (obviamente) passaram a ser gigantes, surgindo a necessidade do desenvolvimento de técnicas matemáticas mais sofisticadas, tais como: aplicações na meteorologia, geometria, cálculo de trajetórias, geografia, dando origem assim as ciências exatas e as engenharias.

Porém, por muito tempo, mesmo com o surgimento de novas teorias mais sofisticadas e o advento do estudo da probabilidade, houve uma desaceleração quanto a aplicação de métodos matemáticos para a solução de problemas cotidianos e empresariais. Muito desta postura deveu-se ao fato de que:

- No campo bélico, as soluções tecnológicas relativas a equipamentos de transporte e manufatura desenvolveram-se de forma abrangente e com muita velocidade, com isso não fazia sentido investir em soluções sofisticadas, tais como, modelos matemáticos de demanda e sistemas de otimização para controle de estoques.
- No campo empresarial, as demandas por produtos eram muitas vezes maiores que a capacidade produtiva dos processos e de escoamento dos canais de distribuição, com isso o empresário industrial e de varejo sentia-se confortável em oferecer serviços de qualidade mediana, pois mesmo assim os clientes continuariam a aparecer nos seus estabelecimentos.

- No campo técnico, a dificuldade em resolver os cálculos matemáticos fizeram com que os modelos estatísticos e de pesquisa operacional fossem deixados em segundo plano, em detrimento das soluções empíricas e sem fundamentação teórica.

Na década de 1940, durante a 2a. Grande Guerra, surgem as primeiras demandas relativas a utilização de modelos mais refinados para solução de problemas de manufatura e distribuição. Os problemas, agora, exigiam uma precisão antes dispensada, pois o erro nas soluções custaria a vida de milhares de pessoas, tão como valores monetários extremamente importantes neste período.

São desta época a aplicação dos modelos de programação linear (método simplex) e o início do uso da estatística como ferramenta para suporte ao processo decisório, contribuindo para uma gestão mais refinada dos recursos utilizados nos conflitos. Apesar de eficaz, o uso da matemática como ferramenta de apoio a decisão foi relegada a um plano secundário, e muito desta postura, deve-se a falta de conhecimento consistente nesta área, bem como, o grande volume de operações a serem feitas, tornavam qualquer investida nesta área, desestimulante.

Após a década de 1980, muitas mudanças foram sentidas no ambiente de negócios, primeiramente por uma democratização da informação, através do uso de microcomputadores e o lançamento, seguido da popularização dos sistemas operacionais amigáveis (eg. apple e microsoft), diminuindo o grau de complexidade das tarefas, pelo menos no tocante a agilidade na resolução de problemas. Outro ponto importante é que além de computadores mais rápidos e baratos, as planilhas eletrônicas começavam a despontar no ambiente das empresas, inicialmente com o LOTUS 1-2-3, seguidas de tantas outras, como Quatro Pro e Excel. Estes aplicativos causaram uma verdadeira revolução no que diz respeito a simplificação de controles gerenciais, anteriormente processados de forma totalmente manual. Outro ponto e talvez, o mais importante de todos, o processo de globalização, encabeçado pelos japoneses e sua invasão de produtos no mercado americano e posteriormente, no mundo. Eles traziam para os produtos em comercialização, conceitos diferentes de distribuição, técnicas diferentes de manufatura e uma sensível preocupação com redução permanente de custos e satisfação incondicional dos seus clientes, explicitada pelo modelo de gestão da qualidade total, tendo como seus defensores **Edward Deming, Joseph Juran, Philipe Crosby, Kaoru Ishikawa, David Garvin**, entre outros, os quais deram a sua contribuição para a construção do conceito de qualidade através da satisfação das necessidades dos clientes.

1.1 Objetivos

Muitas foram as abordagens pensadas para desenvolver o trabalho atual, porém duas delas efetivamente foram consideradas relevantes, logo todo texto irá utilizar o Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento (ou *Supply Chain Management* - SCM) como contexto para analisar a aplicação de modelos assistidos para apoio a decisão, tratando especificamente, o estudo da teoria das restrições e a análise da matriz insumo produto serão o cerne do desenvolvimento de um modelo de melhoria. A escolha procede do fato que no SCM podemos identificar operações de manufatura, distribuição e comercialização, desta forma, será possível analisar a demanda, processos de transformação, estratégias de estocagem e transporte de maneira integrada.

Todo texto será trabalhado com intenção de atingir os objetivos listados abaixo:

1. Escolha do modelo matemático mais adequado para o relacionamento entre elos do SCM.
2. Como tornar o modelo mais amigável para os usuários.
3. Criação de um modelo de simulação, ainda que rudimentar, para expor os resultados.

Com esta premissa identificar-se-á modelos matemáticos de pesquisa operacional que reflitam o comportamento das relações internas entre os elos, considerando a inserção do mecanismo de incerteza nestes modelos, na intenção de aumentar a precisão dos resultados e desta forma, seja capaz de desenvolver políticas para processos de negociação.

É esperado que muitas limitações sejam impostas aos modelos e aos processos, devido à carência de dados e a natureza do trabalho, porém em nenhum momento serão fechadas as portas para uma reavaliação e possível adequação as técnicas desenvolvidas.

1.2 Metodologia

O trabalho corrente será apresentado sob uma estrutura modularizada, no capítulo 2 e 3 faz-se uma análise histórica da evolução dos sistemas de produção e da gestão da cadeia de suprimentos. Esta revisão é importante para criar um contexto para a aplicação dos modelos de gestão assistidos e a dificuldade que alguns gestores sentem em aplicar conceitos matemáticos na área de gestão.

O capítulo 4 faz uma revisão dos métodos de gestão da demanda nos sistemas de produção, a função desta revisão é criar uma ambiente que trate do problema da incerteza inserida nas variáveis que tipicamente são utilizadas pelos gestores da produção nos seus processos decisórios.

O capítulo 5 desenvolve uma análise sobre a gestão de estoques através dos problemas relativo a incerteza quanto ao fornecimento, ou seja, são tratados os problemas do efeito de forrester (relativo a defasagem de tempo entre produção e demanda), problemas referentes aos atrasos nas entregas por parte dos fornecedores e finalmente, problemas referentes a distorções entre solicitação e entrega (falta de produtos na entrega).

O capítulo 6 insere a teoria das restrições como uma forma de otimizar o funcionamento da cadeia de suprimentos, através do estudo dos gargalos de produção, partindo-se da idéia de que é possível melhorar a eficiência do fluxo de produtos pela cadeia de suprimentos pela otimização dos gargalos contidos nesta cadeia.

O Capítulo 7 é o cerne do trabalho pois apresenta uma metodologia de otimização da cadeia de suprimentos através da otimização dinâmica da matriz insumo produtos de Wassily Leontiev. O ponto principal e inovador deste modelo é a utilização do controle ótimo na variável de estoque, através da matriz de programação de produção, para maximizar um funcional objetivo qualquer, no trabalho foi utilizado a soma dos quadrados como funcional objetivo.

O capítulo 8 apresenta uma simulação em uma planilha eletrônica do modelo desenvolvido no capítulo 7, com as explicação dos componentes do modelo e os resultados obtidos.

Finalmente o capítulo 9 apresenta algumas conclusões e reforça a idéia de que é possível resolver problemas cotidianos da gestão de produção de forma eficiente e com o uso de softwares já disponíveis nas empresas.

1.3 O Modelo Desenvolvido

O trabalho corrente culmina com a elaboração de um modelo de planejamento para cadeias de abastecimento utilizando as variáveis demanda e capacidade, corrigidas estatisticamente. É importante analisar que o modelo não é por si auto-suficiente, pois os erros de cada variável são tratados separadamente, porém ressalta-se o mérito em tratar de maneira integrada e assistida algumas variáveis que regem as operações produtivas.

Na figura 1.1 é possível verificar o algoritmo desenvolvido para o processo de planejamento integrado da cadeia de abastecimento.

Conforme descrito na seção anterior, ao longo do texto, cada etapa do algoritmo será explorada para a construção do modelo dinâmico da matriz insumo produto, o qual será a base para o planejamento integrado da cadeia de suprimentos.

Na conclusão do trabalho avalia-se a viabilidade da aplicação do modelo vigente, porém um questionamento deve ser levantado quanto a extensão dos resultados. Como já foi o trabalho não teve como objetivo criar um modelo genérico, mas sim encontrar uma

alternativa amigável e eficiente para a solução de problemas referentes a interrelação da tomada de decisão entre os elos de uma rede de suprimentos.

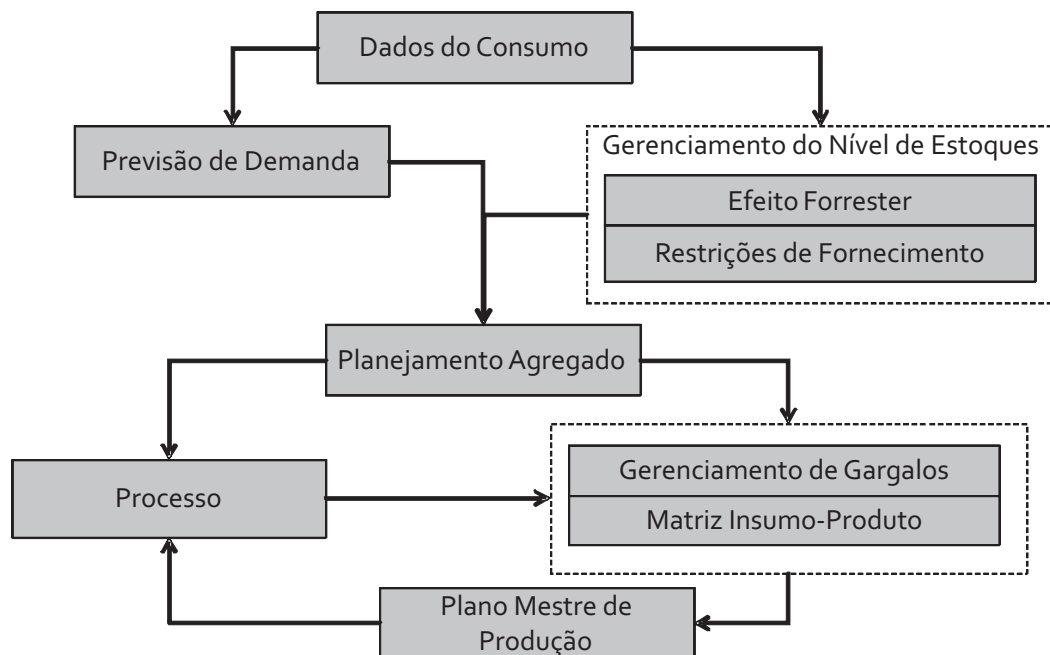


Figura 1.1: Algoritmo

Ao final do trabalho encontra-se um CD-ROM contendo a planilha para simular o funcionamento de uma cadeia de suprimentos, modelada através da matriz insumo produto, utilizando o controle ótimo para otimizar os resultados do sistema dinâmico.

2 *Evolução da Atividade Produtiva*

É impossível para um homem aprender aquilo que acha que já sabe.

Epíteto

A importância da atividade produtiva na sociedade é tão grande que seria impossível descrever a evolução do pensamento humano sem que fosse feita uma relação com a evolução da produção na sociedade. Desde o momento que o ser humano decidiu que o excesso da sua produção agrária poderia ser vendido ou trocado por outros bens e desta forma obter alguma vantagem financeira ou apenas mais conforto, o mundo, desde então nunca mais foi o mesmo. A cada dia as inovações tecnológicas, os avanços na educação e o desenvolvimento de métodos cada vez mais sofisticados para análise de mercados tem sido uma constante no dia-a-dia das sociedades. Evidentemente que a atividade comercial precede à produção, porém a necessidade ávida dos homens por bens impulsionou de forma vigorosa os esforços no sentido de desenvolver formas para o aumentar a capacidade produtiva, tais como, ferramentas para mecanização dos processos e surgimento de escolas profissionalizantes, isto levou a um aumento da oferta, fazendo com que os preços caíam, permitindo que cada vez mais consumidores possam adquirir os produtos desejados.

Remontando um pouco na história, percebe-se que o ato de produzir passou por fases bem específicas, de forma a acompanhar a evolução do conhecimento e a necessidade de novos produtos, por parte dos seres humanos:

- Artesanal
- Mecânica
- Fordista
- Ohnista ou Toyotista
- Tecnologia da Informação

Cada uma destas fases tem características muito peculiares, pois coincidem com a necessidade do homem em prover sua sobrevivência localmente ou em períodos de deslocamento, durante explorações e em outros momentos, a evolução da atividade produtiva coincide com o avanço tecnológico dos equipamentos, os quais eram imediatamente associados aos meios de fabricação de bens.

2.1 Artesanal

Desde que o homem foi obrigado a caçar e pescar, o uso de ferramentas tornou-se uma prioridade para que este garantisse sua sobrevivência. Com o aumento das famílias e posteriormente o surgimento dos grupos e comunidades, a habilidade de construir ferramentas deixou de ser uma necessidade individual para tornar-se uma questão estratégica para a segurança física e alimentar de todos.

Avançando na história, observa-se relatos de oficinas criadas nas sociedades gregas e romanas. Para os gregos a produção de diversos itens era feita através de oficinas especializadas, utilizando uma certa divisão de trabalho e aplicando mão-de-obra escrava (remunerada) para períodos em que eram solicitadas grandes produções (guerras e festas). Em Roma, a atividade artesanal, inicialmente caseira, adquiriu uma certa autonomia e profissionalização com a criação dos colégios de artífices. Muitas foram as profissões desenvolvidas nestas épocas: joalheiros, carpinteiros, ferreiros, tintureiros, oleiros, etc. Com o advento destas escolas, surgiram as grandes oficinas, devido a oferta de mão-de-obra especializada, sendo comum o uso de mão-de-obra escrava para grandes volumes.

2.2 Manual

Com o advento das escolas de formação, abre-se um novo horizonte para os artesãos, pois pessoas comuns, de origem humilde e sem formação podem estudar, desenvolvendo-se numa profissão. Isto trouxe um avanço nas relações comerciais, visto que a oferta de produtos melhora em quantidade e qualidade, por outro lado, a super-oferta de serviços especializados aumenta a competição, resultando, de maneira natural, no crescimento de alguns profissionais com uma visão empreendedora maior do que suas habilidades manuais, os quais investem em seus negócios, contratam novos artífices e passam a ter grandes oficinas, empregando aqueles artesãos que anteriormente trabalhavam de maneira autônoma. Este fato marca o início da visão industrial de produção.

A produção manual teve uma grande evolução através da implantação da divisão do trabalho, explicitada formalmente nos escritos de Adam Smith em 1776 (*A natureza e Causa da Riqueza das Nações*, 2008). Inicialmente o assunto é tratado como relação de poder, como forma da nobreza explorar as classes mais pobres, posteriormente, percebe-se a utilidade deste conceito nas operações comerciais, devido ao aumento de volume produzido e aumento de eficiência nos processos. Neste capítulo Smith trata do problema do aumento do volume produzido através da divisão de uma atividade em suas sub-partes e o uso de pessoas especializadas em cada sub-atividade.

Durante os séculos XV a XVIII, a economia dos países europeus muito se desenvolveu

através das grandes navegações. Povos eram descobertos (Continente Americano) ou encontrados (a exemplo do Japão), cada um com mercados promissores e ávidos por produtos fornecidos pelos países colonizadores. Surge uma nova onda, na qual o número de artífices já não é suficiente e o tempo necessário para formá-los é inadequado à ansiedade dos consumidores. Desta forma, alguns mestres artesãos, vislumbrando a oportunidade de crescimento, passam a residir nas colônias e abrem escolas para formarem o seus novos aprendizes-funcionários, difundindo a arte da sua produção para outros países.

2.3 Mecânica

No século XIX, outro paradigma conceitual seria quebrado, novamente por razões econômicas. A necessidade em aumentar a velocidade de deslocamento das pessoas (leia-se, também, dos produtos), surge a máquina a vapor, inicialmente instalada em trens e embarcações, posteriormente adaptada para equipamentos de produção, tais como os teares, transmissões de movimentos, sistemas de aquecimento. Estas máquinas ampliavam o horizonte de produção para valores nunca antes pensados, pois para os donos das indústrias, as máquinas serviam para fabricar os seus produtos, porém dependiam do vigor e habilidade de quem as operasse. Através do uso do vapor e da energia térmica, estas máquinas poderiam multiplicar em várias vezes o seu volume de produção. Ficava, porém, evidente que o problema relativo a capacidade produtiva estava solucionado, por outro lado a necessidade de contar com operadores especializados ainda era um ponto chave, pois o homem controlava a máquina e sendo assim reduziria a sua eficiência pela sua incapacidade de acompanhar o ritmo da máquina.

Este problema foi inicialmente estudado por um engenheiro Frederick Winslow Taylor (1995), o qual analisou a forma de trabalho de funcionários de empresas ferroviárias americanas e desenvolveu um postulado conhecido por Administração Científica. No seu trabalho Taylor preconiza que todo trabalho pode ser padronizado através de uma receita, a qual chamamos atualmente de POP (Procedimento Operacional Padrão). O POP deve ser desenvolvido através da seguinte metodologia:

1. Identificação da tarefa a ser estudada.
2. Definição dos envolvidos na tarefa com suas respectivas responsabilidades (divisão do trabalho).
3. Identificação de um padrão de operação, ou seja, definir cada etapa da tarefa, registrá-la e garantir que todos saibam como estas tarefas devem ser realizadas.
4. Medição da tarefa para calcular o tempo padrão de operação.

5. Treinar todos os funcionários no método desenvolvido e garantir que todos sejam capazes de atingir o tempo padrão.

A idéia básica do trabalho de Taylor remete a uma conclusão que para cada atividade é possível definir um padrão de operação e este padrão, se for de conhecimento comum, se for seguido e exaustivamente repetido, irá garantir que todos os funcionários trabalhem num mesmo ritmo e com um volume de produção esperada.

Outro ponto importante do trabalho de Taylor (e também, muito polêmico) é o papel da chefia no controle dos sistemas produtivos, pois para Taylor, a única forma pelo qual os procedimentos operacionais seriam eficientes passa pela visão inquestionável do chefe sobre a melhor forma de executar qualquer tarefa, ou seja, para ele, a chefia é a única função organizacional que teria habilidades para desenvolver um procedimento operacional, cabendo aos trabalhadores cumprir de maneira irrestrita as orientações. Esta visão além de equivocada, traz um erro conceitual, pois só se pode verificar uma forma única de execução de uma atividade, se todos os trabalhadores têm características físicas e habilidades técnicas semelhantes, um segundo erro cometido, diz respeito às habilidades do chefe, as quais devem ser iguais às dos trabalhadores. É preferível dizer que o procedimento único é verdade para ações repetitivas e de pequeno grau de complexidade, porém esta metodologia não se verifica em todas as atividades.

Estas idéias só seriam totalmente validadas no século XX, por um mecânico desconhecido, chamado Henry Ford.

2.4 Fordismo

A era Ford de produção começou com uma inovação quanto à forma de produzir, pois Henry Ford (1964) imaginou um sistema de produção bastante diferente para o formato correntemente usado. Na sua visão, para que um trabalho produtivo fosse viável, a indústria deveria ser capaz de repeti-lo muitas vezes de maneira consistente, a única forma para isto acontecer é garantir que cada pessoa repita uma parte pequena de toda a tarefa, sendo assim a visão de especialização foi implantada pela descrição dos trabalhos de Adam Smith em 1776 sobre divisão do trabalho. Outro ponto importante do legado de Ford foi a sua obstinação em garantir a redução de movimentos desnecessários, para isto utilizou as idéias de Frederick W. Taylor (1995) sobre administração científica, desenvolvendo nas suas fábricas o estudo de tempos e métodos para cada tarefa a ser desempenhada. Finalmente restava a Ford garantir que os trabalhadores especializados e treinados tivessem as matérias-primas às suas mãos quando começarem a produzir, assim como as partes intermediárias dos processos (ítems semi-acabados) fluíssem pela seqüência de produção sem a necessidade de operações desnecessárias, desta forma foi imaginada e desenvolvida

a linha de produção. Neste modelo de processo, os produtos se movem de uma estação para outra, enquanto os trabalhadores permanecem fixos na sua área de trabalho, a qual é constantemente abastecida de materiais e ferramentas.

Este modelo de produção aumentou consideravelmente a capacidade produtiva das fábricas, pois impactava de forma contundente em dois problemas recorrentes na indústria daquela época:

- A falta de padronização dos produtos e a especialização dos trabalhadores, provocando a falta de padronização dos processos. Este grupo de problemas era responsável pelo aumento do custo de produção, um número grande de produtos defeituosos ou com falhas de acabamento, tudo isto culmina no aumento nos preços dos produtos para o consumidor final.
- Operações como transporte de materiais, espera de lotes e paradas no trabalho para o reabastecimento de matérias-primas eram freqüentes antes da linha de produção. O tempo gasto com estas operações eram significativo, causando reflexos na eficiência dos sistemas de produção, e finalmente atingindo o preço pago por um produto pelo consumidor final.

Vê-se pelo itens anteriores que o grande legado de Ford foi garantir uma redução de preços aos produtos fabricados pelas indústrias e o aumento na velocidade do processo produtivo de forma a fornecer produtos em quantidades compatíveis com o crescente número de consumidores, ávidos por produtos mais baratos.

Além da visão da padronização, a linha de produção de Ford deixou outro legado, pois só após a sua implantação, os efeitos de escala nos processos produtivos puderam ser observados. Nas linhas de produção da Ford Motor Company, os empregados repetiam tantas vezes uma mesma atividade que o tempo necessário de produção de uma peça qualquer caía, na mesma medida em que o operador responsável pela sua produção aumentava seu grau de experiência naquela atividade. Esta relação é conhecida por curva de aprendizagem, conforme verifica-se em Moreira (1998), sendo explicitada pela expressão abaixo:

$$t_n = t_1 \times n^{-b} \quad (2.4.1)$$

onde:

t_n é o tempo para a conclusão da atividade n

t_1 é o tempo para conclusão da atividade n= 1

b é chamado de fator de aprendizado, e obtido pela expressão

$$b = -\frac{LN(\frac{t_2}{t_1})}{LN(2)} \quad (2.4.2)$$

O resultado das equações 2.4.1 e 2.4.2 pode ser verificado na figura 2.1

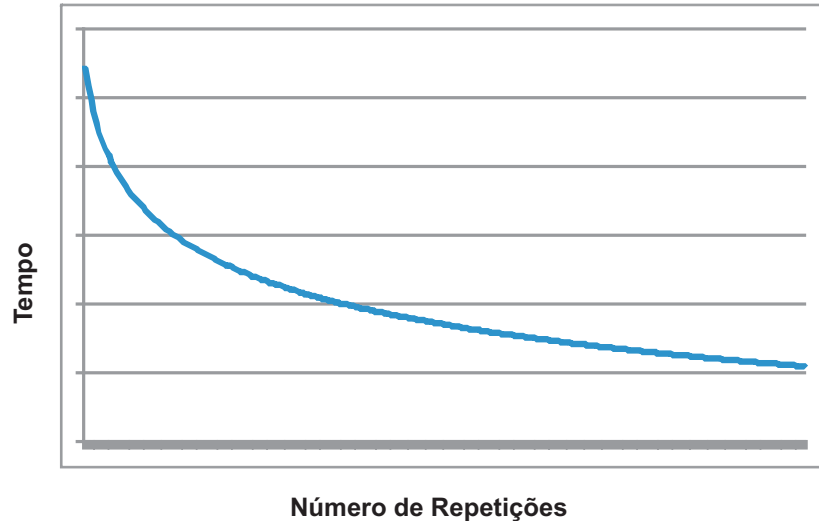


Figura 2.1: Curva de Aprendizagem

Desta forma conclui-se que a premissa de Ford era verdadeira, visto que para um número grande de repetições, o tempo padrão para execução de uma atividade tende a ser muito menor, alcançando-se efeitos de escala nos custos de produção.

2.5 Ohnismo

Cerca de 70 anos se passaram para que o sistema Ford de produção fosse contestado formalmente, um engenheiro da indústria Toyota chamado Taichi Ohno começou a fazer experiências no seu processo de produção de peças fundidas por volta de 1935 e após a segunda guerra mundial, numa viagem aos Estados Unidos, vislumbrou a idéia de um sistema de reposição contínua utilizando cartões, o qual foi batizado de KANBAN (cartão, em japonês). O sistema de Ohno foi crescendo de importância quando os recursos de produção começaram a ficar escassos e as distâncias entre os países passaram a ser grandes suficientes para uma ligação de telefone ou algumas horas de avião.

Conforme pode ser visto em Ohno(1997) e Shingo(2002), o sistema Toyota de produção tem o seu foco de trabalho centrado em dois pilares:

- Combate as perdas — Este pilar fundamenta-se na idéia de que para que o sistema de produção venha a alcançar suas metas é preciso trabalhar de forma precisa nas causas dos desperdícios inerentes ao processo produtivo. Ohno agrupou eles em 7

(sete) grupos distintos, porém interdependentes, perdas por superprodução, estoque, movimentação, espera, transporte, processamento e produtos defeituosos. É preciso ressaltar que as sete perdas de Ohno, separadamente, podem não explicar todas as ineficiências que um processo produtivo venha a ter, porém apontam a direção em que o problema deve ser investigado, ou até se as perdas aparecem de forma combinada gerando ineficiências.

- Just In Time (JIT) — Este pilar encontra-se no outro lado da filosofia toyota de produção, pois quebra o paradigma do modelo fordista que preconiza o uso de estoques para garantir o pronto atendimento dos clientes e os níveis otimizados de produção para encontrar economias de escala nas linhas de produção. Na visão toyota, o fluxo produtivo não deve guardar estoques intermediários para amortizar as incertezas do mercado ou a falta de capacidade das linhas de produção, ao contrário, deve planejar fluxos contínuos de processo, nivelando a produção pela sua capacidade média. Algumas técnicas são importantes para a implantação do JIT, tais como: operador multifuncional, sistema de troca rápida de ferramentas, KANBAN, a autonomia, etc.

O uso de processos de melhoria contínua e uma abordagem sistemática de educação e elaboração de metas foram determinantes para o sucesso do sistema toyota de produção quanto ao combate as sete perdas de processo. Numa visão mais meticulosa, Ohno dizia que a redução dos desperdícios estava diretamente ligado a capacidade de envolvimento dos operadores, gerentes e diretores na identificação e análise das sete perdas, garantindo-se nesta etapa que todos os funcionários de qualquer escalão tenham a consciência de que qualquer perda é algo indesejável e precisa ser modificado, seguindo-se do compromisso pessoal destes no sentido de desenvolver um processo contínuo de evolução quanto a meta de cada perda.

Numa segunda etapa da análise do modelo toyota, percebe-se que a redução dos desperdícios torna os processos mais enxutos e com fluxos mais contínuos, sendo assim, era preciso encontrar o que fazer com o excedente de capacidade recém-descoberto e transformar este fato num diferencial competitivo. Na sua visão inicial, Ohno imaginava que os processos produtivos deveriam trabalhar em sincronismo com a demanda (esta também era a tônica do modelo de dinâmica industrial de Jay Forrester em 1961), porém o abismo entre a idéia e a prática era muito grande, pois o paradigma da época era a programação de produção em larga escala. Numa atitude corajosa, ele refutou o sistema tradicional de programação, criando o sistema de nivelamento de programação, na qual o cálculo do volume produzido, não se utiliza da capacidade efetiva, mas do tempo de ciclo de cada atividade. Para isto Ohno utilizou o conceito de *takt time*, onde o cálculo deixa de ser

Tabela 2.1: Diferenças entre Taxa de Produção e Tempo de Ciclo

Programação	hora 1	hora 2	hora 3	hora 4	Total
Tradicional 1	5	0	7	8	20
Tradicional 2	5	5	10	0	20
Tradicional 3	5	8	3	5	20
Tempo de Ciclo	5	5	5	5	20

feito pela quantidade a ser entregue e passa a ser calculado pelo tempo disponível para cada atividade. Exemplificando, tem-se:

$$\text{Programação tradicional: Taxa de Produção} = \frac{\text{Quantidade Demandada}}{\text{Tempo Disponível}}$$

$$\text{Programação Nivelada: Tempo de Ciclo} = \frac{\text{Tempo Disponível}}{\text{Quantidade Demandada}}$$

Considerando que é preciso entregar 20 caixas de produtos ao final de 4 horas de produção e que a capacidade efetiva máxima do sistema é 7cx, o setor de programação calculou que o desgaste mínimo, o ideal seria uma produção horária de 5cx/h, porém, na prática, o operador vai trabalhar segundo a sua curva de aprendizagem ou segundo o seu ritmo de trabalho, vejamos abaixo algumas possibilidades:

Como a produção só é medida no final do período, percebe-se que em todos os casos da programação tradicional, os operadores controlam o sistema produtivo, gerando gargalos de forma aleatória, aumento o efeito forrester (efeito chicote) dos processos internos, além de permitir um fluxo descontínuo de materiais ao longo de todo processo. Este problema pode ser minimizado ou até totalmente eliminado quando a programação é calculada pelo tempo de ciclo, onde todo processo produtivo sabe qual a taxa de entrega horária, logo apenas os recursos gargalos precisam ser programados, pois eles controlarão o fluxo de matérias-primas e pessoal de todo processo produtivo.

Para que o sistema estivesse completo, bastava conseguir que os operadores cumprissem a programação horária sem que gerassem super produção, para isto foi implementado um sistema de controle visual chamado KANBAN. Este sistema tem como premissa que a requisição de produção e movimentação de materiais será fracionada em pequenas partes e o operador só produz as quantidades solicitadas na requisição corrente, para isto um sistema KANBAN é implantado nas áreas de almoxarifado e os despachos de insumos para produção são feitas mediante requisição fracionadas.

A lógica da programação é muito simples, tanto que as empresas que funcionam com o sistema toyota de produção, utilizam o KANBAN para o controle de estoques de fornecedores e com isto garantem um fluxo contínuo de insumos.

2.6 Tecnologia da Informação - TI

A partir da década de 1980, os computadores atingiram os domínios industriais, causando uma verdadeira revolução nos meios de fabricação, inicialmente pela capacidade de computação (velocidade de processamento) e num segundo momento pela aumento da capacidade de armazenamento, propiciando a fidelidade do armazenamento de informações antigas. Esta época pode ser chamada de primeira fase da revolução tecnológica na produção. Neste momento o grande problema que os meios de produção enfrentavam era a dificuldade em manipular grande número de informações em pequenos espaços de tempo. Os computadores trouxeram agilidade aos processos e a tomada de decisão. Foi também neste período o surgimento dos *software* de planejamento integrados, conhecidos por MRP (*Material Requirements Planning* - Planejamento de Recursos Materiais), os quais gerenciavam as informações referentes a requisição, devolução e uso das matérias-primas nas fórmulas dos produtos e roteiro de produção. A lógica de funcionamento destes *software* era bem simples, pois a partir dos produtos finais de cada processo (chamados de ítems-pai), o sistema fazia uma "explosão" das necessidades de cada componente, baseando-se na fórmula do produto e no roteiro de produção.

O fato descrito no parágrafo anterior já seria suficiente para descrever o uso da TI nos meios de produção, não fosse o crescimento de algumas empresas puxadas pelo processo de globalização, sendo assim outros requisitos passaram a ter uma importância fundamental, tal como a integração entre setores da empresa e o compartilhamento de informações. Esta nova fase ocorreu no início da década 1990 e pode-se chamar de segunda fase da revolução tecnológica na produção, este novo momento coincide com o surgimento dos sistemas MRP II (*Manufacturing Resource Planning* - Planejamento de Recursos de Manufatura) e ERP (*Enterprise Resource Planning* - Planejamento de Recursos da Empresa). Estas duas classes de *software* tem campos de atuação distintos, porém pertencem a uma mesma filosofia de operação, pois no caso do MRP II tem-se todos os *software* que integram operações dentro de ambientes operacionais, ou seja, manufatura, engenharia, manutenção, qualidade, compras, logística, desenvolvimento de produtos, compartilham a mesma base de dados, logo o mesmo nível de informação. Analisando profundamente, percebe-se que este tipo de *software* provocou um nivelamento na nomenclatura dos processos e assim deu subsídios para o surgimento do planejamento agregado de produção, conhecido atualmente por plano mestre de produção (Correia & Giansi, 1997).

A outra classe de *software* desenvolvidos foram os ERP, no qual os vários departamentos da empresa, inclusive suas unidades de negócios passaram a compartilhar uma mesma base de dados, desta forma é possível visualizar de forma dinâmica os pontos de consumo da empresa e desta forma gerenciar qual a capacidade que cada processo deve ter para atender todo os mercados da empresa. Ao início da década de 2000, os sistemas ERP,

utilizando-se da tecnologia de EDI (*Electronic Data Interchange* - Intercâmbio Eletrônico de Dados) passaram a integrar os fornecedores e em alguns casos, os clientes, operadoras de celular, por exemplo. Estes novos *software* herdaram a nomenclatura ERP, porém implantavam uma capacidade decisória sem precedentes, pois além de ter controle dos seus consumos, as empresas passaram a ter controle dos consumos globais dos seus clientes finais e da capacidade de resposta dos seus fornecedores.

A última fase desta revolução tecnológica esta acontecendo atualmente, são os sistemas integrados ao comércio eletrônico, onde os meios de produção estão se adequando a trabalhar com lotes pequenos, de forma a atender uma demanda crescente, sem fronteiras, com acesso irrestrito a informação, impaciente pela entrega e com volume de consumo fracionário, logo o motivo para se produzir lotes reduzidos e economicamente viáveis.

3 Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento

"Não se assinala o caminho apontando o dedo, mas sim caminhando a frente".

Provérbio Maeua

Diferentemente de 20 anos atrás os termos Gerenciamento da cadeia de abastecimento ou *supply chain* vem se tornando comum na comunicação dos estudantes de administração, engenharia de produção, executivos e empresários que de alguma forma estão envolvidos com atividades produtivas ou de distribuição. Pela própria semântica das palavras, o seu significado é relativamente obtido de maneira trivial, porém a sua prática vem sendo fracamente implementada. Por que isto acontece? Por que algo tão simples de ser entendido é tão difícil de ser implementado?

Acredita-se que uma primeira resposta para esta pergunta está principalmente no termo descrito, ou seja, no nome! Pensando melhor, quando sabe-se tanto de algum assunto, será que haveria preocupação em estudá-lo? Creio que não! Assim são as pessoas que trabalham nas áreas impactadas pela cadeia de abastecimentos, confundem a sua gestão com o gerenciamento de materiais ou o gerenciamento de distribuição. Estas atividades fazem parte do *supply chain*, mas não são sua essência. Via de regra o gerenciamento tradicional tem características de análises pontuais e sem integração no tocante ao processo decisório. Outro ponto interessante é o senso comum de que distribuição e produção são áreas distintas (com centros de custos distintos, mas nunca com processo decisório separado).

No ambiente empresarial, quando se fala de *supply chain*, é possível assinalar pedras fundamentais a serem perseguidas nesta área:

- Redução de custos no fornecimento.
- Redução do tempo total de abastecimento.
- Aumento das margens dos produtos.
- Aumento da utilização da capacidade produtiva das operações.
- Melhorar o retorno dos investimentos.

3.1 Histórico

Segundo MARTINS (2006), com a evolução dos negócios, a cadeia de fornecimento vem ampliando seu horizonte de gerenciamento. Inicialmente a gestão se limitava as funções organizacionais, hoje os processos são focados na geração de valor entre os elos, conforme pode ser visto ver abaixo.

Visão Departamental — até 1960

Nesta visão a cadeia de abastecimento limitava-se a gerir as relações entre os vários departamentos da empresa. Neste desenho a cadeia resumia-se a fazer fluir as matérias-primas entre as fases dos processos da empresa. Os Estoques eram utilizados para amortecer a falta de sincronização entre os departamentos da empresa. Toda gestão neste modelo não tem visão total da cadeia de abastecimento qualquer planejamento, como todo o foco é para dentro da empresa, será válido no curto prazo.

Visão Funcional — 1960 até 1980

Nesta fase percebe-se a cadeia como ela é desenhada atualmente, ou seja, as etapas de fornecimento-produção-cliente já estão formadas e são a base do planejamento, porém a visão gerencial, ainda, se volta para as demandas internas onde os gargalos e as fatores restritivos de capacidade regem o fluxo de funcionamento da cadeia. Os processos são controlados localmente e encontram-se numa fase inicial de integração (quando existe!). O foco inicial da gestão da cadeia de abastecimento é a redução de custos.

Visão da Cadeia Interna — 1980 até 1990

Esta fase mantém o desenho da cadeia anterior, porém incorpora de forma mais enérgica o mecanismo de integração computacional e gerencial. Os objetivos de desempenho percorrem toda cadeia e o planejamento passa assumir horizontes de médio prazo.

Visão da Cadeia Logística Integrada — 1990 até agora

Nesta fase as etapas da cadeia mudam para fornecimento-cadeia de valor da empresa-clientes, pois atualmente o foco da cadeia de abastecimento está dividido em duas partes: uma relativa ao projeto e gerenciamento de processos eficientes (rápidos e baratos) e outra referente a satisfação das necessidades dos clientes (custos operacionais reduzidos, *lead times* cada vez menores, Estoques reduzidos) em seu mais alto grau, de forma a desenvolver diferenciais competitivos no mercado.

Com que foi exposto acima pode-se perceber que houve uma migração de objetivos e conseqüentemente de estratégias de gestão de uma fase para outra. Inicialmente o fluxo de abastecimento centrava-se nas capacidades produtivas e disponibilidades de mercado. Hoje todo processo esta centrado no levantamento e atendimento da satisfação do cliente e os processos internos devem ser ajustados para o atendimento destas necessidades. Sendo assim, encerra-se a era da produção em massa e inicia-se a era da customização em massa.

3.2 Visão estratégica

Quando se pensa em cadeia de abastecimento logo vem a mente um emaranhado confuso de linhas ligando várias etapas de um processo acompanhada de uma infinidade de tabelas com valores de custos, quantidade prazos, em outras palavras, uma quase visão do caos. Esta visão não está de todo equivocada, a não ser o termo "confuso" na frase anterior. O *supply chain* como processo é uma estrutura sistemática e hierarquizada, o que facilita em muito a sua identificação e estudo. É preciso, agora, conhecer como analisar as etapas do processo e como as estratégias são desenvolvidas.

Inicialmente analisar-se-á a estrutura da cadeia de abastecimento através de suas partes:

- **Fornecedores** — Representam na cadeia todos os elos anteriores as atividades produtivas. Pode-se ter fornecedores em várias camadas, ou seja, fornecedores, de fornecedores, de fornecedores, desta forma ter-se-ia 3 camadas de fornecedores. Os indicadores a serem medidos e acompanhados seriam a **qualidade dos itens entregues** (verificar se atendem as especificações solicitadas pelos clientes) e **lead Time ou tempo de re-suprimento** (este tempo representa o prazo prometido pelo fornecedor para entrega do pedido).
- **Manufatura** — Representa todos os processos de transformação pelo qual passam os recursos transformados para a elaboração do produto. Os indicadores relevantes de estudo na cadeia de abastecimento são a **capacidade produtiva** e o **nível de flexibilidade** para absorção de variações na demanda.
- **Logística** — Representa os processos de distribuição dos produtos acabados para os centros de consumo. Os pontos de consumo terão várias camadas, dependendo do número de canais de comercialização utilizados pela empresa (por exemplo, o atacado, varejo e cliente final). Nesta fase o grau de complexidade da cadeia aumenta muito sendo importante a elaboração das estratégias de **localização de pontos de abastecimento, políticas de estocagem e políticas de transporte**.
- **Clientes** — Estes estão no final da cadeia e serão identificados de acordo com os canais de marketing e vendas. Toda cadeia funciona para o atendimento de suas necessidades, logo o **nível de satisfação** e o **nível de serviço** serão os indicadores avaliados nesta etapa.

Na medida que conhece-se os indicadores estratégicos para cada etapa da cadeia fica mais claro o seu funcionamento e o que avaliar entre etapas. Outro ponto relevante é definir o que se deseja obter como resultado do fluxo da cadeia, ou seja, é importante atribuir um nível de excelência de funcionamento. Conforme visto em Chase (2006) é

importante que as relações entre os elos da cadeia de abastecimento desenvolvam relações de **ganha-ganha**, então o mais lógico é partir do ponto final da cadeia, do cliente, definir os valores dos indicadores de desempenho e trazer de composta (agregando todas etapas da cadeia de valor), os valores dos indicadores dos primeiros elos da cadeia, os fornecedores.

Talvez não seja muito claro, mas esta metodologia de trazer retroativamente os indicadores, apesar de muito funcional e inteligente, tende a ser muito difícil de ser implementada por vários motivos:

- Os clientes são em sua grande maioria pessoas com desejos parecidos, porém com ações diferentes, obrigando as operações logísticas a fazerem combinações de serviços, o que naturalmente causa uma perda na qualidade percebida pelo cliente.
- A disponibilidade dos insumos varia durante os períodos por motivos diversos, tais como: condições climáticas, taxas cambiais, guerras, disputas políticas, sazonalidades, etc.
- Os elos da cadeia não são integrados por uma mesma base de dados. Isto se deve ao fato de que algumas empresas não estão dispostas a abrir sua base de dados e outras são pequenas demais para ter uma.
- A qualidade dos modais de transporte varia entre eles, inviabilizando algumas conexões que reduziriam custos.

Outro ponto a ser analisado para um projeto eficiente da cadeia de abastecimento é o estudo das relações entre variáveis que regem a cadeia. Chase *apud* Lee (2006, página 364) explicita uma matriz (tabela 3.1) envolvendo as incertezas de suprimento e incertezas de demanda, nela é possível identificar quatro tipos de estratégias para as cadeias de suprimento:

Tabela 3.1: Estrutura da Incerteza na Cadeia de Suprimentos

Incerteza do Suprimento	Incerteza da Demanda	
	Baixa (Produtos Funcionais)	Alta (Produtos Inovadores)
Baixa (Processo Estável)	Cadeia de Suprimentos Eficiente	Cadeia de Suprimentos Responsiva
Alta (Processo em Expansão)	Cadeia de Suprimentos que Restringe o Risco	Cadeia de Suprimentos Ágil

- **Cadeias de Suprimento Eficientes** — O foco desta estratégia é encontrar a melhor relação custo benefício, de forma que os custos sejam minimizados. As ações desta estratégia preconizam o aumento da eficiência no sentido da redução de custos.

- **Cadeias de Suprimento que Restringem os Riscos** — São cadeias que utilizam estratégias de forma a diluir os riscos com as possíveis variações da demanda por parte dos clientes e quebras de ofertas por parte de fornecedores ao longo dos elos da cadeia. Na verdade o que esta estratégia tem por objetivo é garantir o fornecimento uniforme nos períodos de sazonalidade da oferta e o compartilhamento de custos nos períodos sazonais da demanda.
- **Cadeias de Suprimentos Responsivas** — Esta estratégia baseia-se na capacidade que a cadeia deve desenvolver para responder de forma flexível as variações da demanda. Normalmente as ações desta estratégia explicita-se através de processos feitos sob encomenda e customização em massa.
- **Cadeias de Suprimentos Ágeis** — São cadeias que apresentam características semelhantes as cadeias responsivas, acrescentando-se o fato de que o risco de faltas de suprimentos ou rompimento de fornecimento são resguardados pelo uso de estoques agrupados ou de capacidade agrupada. São ditas ágeis porque são capazes de variar absorver as demandas sem variar os seus níveis de funcionamento.

3.2.1 Terceirização

O processo de terceirização está associado à transferência a outras organizações de parte do processo produtivo que seria de responsabilidade da empresa. Esta estratégia de trabalho traz um número muito grande de oportunidades, desde o aumento da capacidade da empresa, desenvolvimento do foco no seu negócio (*core business*), passando pela profissionalização das empresas terceirizadas para atender às necessidades prementes de novos clientes até a redução do custo de operação (repercutindo no custo do produto) por parte da empresa que solicita a terceirização pelo fato de desconectar do seu processo atividades que não contribuem para a geração de valor percebido pelo cliente. Pelo que se pode perceber muito cuidado e responsabilidade envolvem as decisões referentes à terceirização de atividades, por motivos óbvios, a empresa que delega os serviços põe nas mãos de terceiras partes, a qualidade do seu produto e por conseguinte a sua reputação. Segundo Chase (2006) são vários os motivos que levam as empresas a terceirizar os seus processo:

- **Motivos Organizacionais** — Foco na operação principal da organização; Aumento de flexibilidade para atender variação da demanda/preferências dos consumidores e Aumento do valor percebido pelo cliente.
- **Busca de Melhorias** — Obtenção de *expertise*; Melhoria de desempenho; de controle; de gerenciamento operacional; de gerenciamento de risco e Aquisição de idéias

inovadoras.

- **Motivos Financeiros** — Redução no investimento em ativos/Liberação dos investimentos para outras atividades e Geração de caixa pela transferência de alguns ativos para os terceiros
- **Busca de Receita** — Acesso de mercado/oportunidade de negócios através da rede do terceiro; Aceleração da expansão através do desenvolvimento da capacidade/dos processos/sistemas dos terceiros; Exploração das habilidades existentes comercialmente.
- **Redução de Custo** — Transformar custos fixos em custos variáveis; Redução de custos através do desempenho superior do terceiro.
- **Estímulo aos Funcionários** — Aumentar o comprometimento e energia das áreas não centrais da empresa.

Pelo motivos acima, muitas são as vantagens de implementar a terceirização de partes da organização. Em teoria, este deveria ser um processo relativamente simples, porém o que se tem visto na prática é que as dúvidas geradas nesta etapa, se não forem muito bem estudadas, podem inviabilizar todo trabalho e por em terra todos os benefícios. Separar o que é importante para a organização por motivos estratégicos e/ou funcionais tem sido a maior preocupação dos gestores envolvidos. Outro ponto relevante é o sigilo e segurança das informações que trafegam nos processos comuns, ou seja, uma rede estruturada e segura de pessoas e tecnologias deve ser desenhada para garantir a sobrevivência da empresa. A política de pessoas, através dos planos de carreiras, cargos e salários e treinamentos, deve ser cuidadosamente implementada, de forma a reduzir o *turn over* e a possível migração de talentos treinados para os concorrentes.

3.2.2 Fornecedores

Outro tópico importante quando se está analisando a cadeia de abastecimento é a seleção e operação com os fornecedores. Este tópico de aparente simplicidade envolve decisões estratégicas com relação a localização, relacionamento comercial, linha de visibilidade, reciprocidade, transferência de tecnologia e foco nos produtos. O fornecedor antigamente era visto como uma parte da cadeia de suprimentos, porém com o aumento da concorrência, acesso a informação e das facilidades de transportes, uma nova visão foi gerada e os fornecedores passaram a ser parceiros das operações de produção, tendo papel fundamental na geração de valor percebido, tanto quanto, na criação de diferenciais competitivos. Neste capítulo o foco será direcionado a descrever algumas decisões acerca

da escolha dos fornecedores. Basicamente o assunto a ser tratado é quantos fornecedores a cadeia deve ter, onde eles estão e quanto do processo do cliente ele conhece.

Como em todo processo produtivo cada etapa tem a sua função e por isso descreve uma relação cliente-fornecedor, ou seja, sempre há alguém que solicita e sempre há alguém que é solicitado. Utilizando esta definição conclui-se que quando trata-se de selecionar os fornecedores um primeiro passo é saber se este é capaz de atender as especificações do produto e se no seu fornecimento tem-se uma constância quanto a entrega dentro destas especificações, a isto chamar-se-á **qualidade de conformação no fornecimento** (PAL-LADINI, 2000). Num segundo momento avalia-se a sua capacidade em atender a demanda solicitada em duas dimensões da produção (SLACK, 2002): Volume e Variedade. O próximo passo é verificar as condições do fornecedor em criar soluções alternativas as variações de solicitação de produtos tanto na forma, quanto no tempo de entrega, compatibilizando a terceira dimensão da produção, variação da demanda (SLACK, 2002). Estes requisitos são fundamentais para que um fornecedor possa ser considerado no processo decisório do cliente.

Um segundo momento relaciona-se com a escolha efetiva do fornecedor. Nesta etapa são avaliados pontos relativos a sua localização geográfica, definindo por conseguinte uma política logística. Outro fator a ser considerado é a capacidade de gerir os estoques dos clientes, ou seja, desenvolver uma política de estocagem compatível com as três dimensões da produção citadas no parágrafo anterior. E por último ponto a ser analisado é o preço solicitado do produto e a política de precificação utilizada (economias de escala, taxas de operação logística).

Definido as condições de operação, passa-se para a análise de incerteza associada ao fornecimento, ou seja, a escolha da quantidades de fontes de fornecimento, bem como a política a ser utilizada para rateio das especificações do produto, ou seja, qual empresa fornece determinado produto. Esta análise dará origem aos termos encontrados na literatura específica na área de gestão da produção e gestão de suprimentos [(SLACK, 2002) e (BALLOU, 2001)], tais como:

- **Fornecimento *single source*** — Neste modelo a cadeia de abastecimento tem apenas um fornecedor para cada item do produto. Pode ser utilizada em cadeias com relacionamento comerciais de longo prazo, franquias e entre empresas do mesmo grupo.
- **Fornecimento *multi source*** — Neste modelo a cadeia de abastecimento tem várias fontes de abastecimento para um item do produto. Tipicamente encontramos esta forma de suprimento quando as empresas clientes trabalham em mercados fragmentados (PORTER, 1986) ou a matéria-prima é uma *commodity* ou ainda, existe

muita incerteza quanto ao fornecimento, ou até quando o cliente quer exercer poder de barganha para com concorrentes.

- **Sistema de produção multiestágio** — Neste modelo o sistema de produção tradicional é substituído por um sistema de produção fracionado, ou seja, no lugar de iniciar e finalizar a produção de todos os produtos e depois despachá-los para entrega, os produtos são iniciados, porém alguns são finalizados e outros seguem semi-acabados para o cliente ou para as centrais de distribuição, lá são finalizados mediante a demanda instantânea.

3.2.3 Descentralizar a produção

O número cada vez maior de clientes e concorrentes vem obrigando as empresas a buscarem soluções pouco tradicionais para manterem-se firmes num mercado mutante. Os clientes mudam suas preferências todos os dias, devido aos meios de comunicação, obrigando os sistemas de produção a re-inventarem seus produtos todos os dias. Uma forma inteligente que vem ganhando popularidade é a filosofia toyota de produção (com o conceito da manufatura enxuta) aliada a uma estratégia logística de descentralização de processo. Neste conceito os produtos devem ser produzidos nos locais em que são consumidos e para isto uma corrida foi deflagrada para desenvolver sistemas de produção simples e compactos de forma que possam ser intercambiáveis entre os produtos. Além disso os roteiros de produção devem ser modulares, de forma que partes do produto possam ser concluídas em qualquer lugar do mundo, sendo assim, os produtos base serão feitos pela empresa e as adequações solicitadas pelos clientes locais serão manufaturadas próximos aos pontos de consumo. Pode-se citar exemplos como Nike, m&m's Mars, Volkswagen, General Motors que possuem vendas mundiais, porém com processos locais. Esta metodologia tem grandes vantagens por dois motivos: o primeiro, evita que a empresa tenha uma unidade produtivas em cada ponto de consumo, aumentando os custos operacionais; o segundo motivo diz respeito a diminuição dos custos de armazenagem, pois a necessidade de estoques é quase nula, estando a maior parte dos custos nos estoques em trânsito.

Em contraposição as vantagens da descentralização dos processos de produção, tem-se uma perda de controle na qualidade do produto final pela empresa que o fabrica, sendo necessário a utilização de sistemas de certificação de qualidade para todos os elos da cadeia e implantação de sistemas de informação *online* para garantir a fidelidade do processo decisório. Outro ponto a ser analisado com cuidado diz respeito a desenvolvimento e operacionalização dos sistemas de gestão da qualidade para gerar uma linguagem única com relação as especificações dos produtos, soluções quanto a resolução de problemas referentes ao produto e uniformidade no serviço de atendimento do consumidor, de maneira

a não prejudicar a marca do produto. Por último, é preciso levar em consideração que ao descentralizar os processos e sua gestão, a empresa perde a visão do todo, ou seja, cada processo só conhece parte da necessidade do cliente, cabendo aos departamentos de Planejamento e Programação da Produção (PCP) ser o cérebro da operação, tendo como função o gerenciamento das demandas globais.

3.3 Realidades e Pontos de Vista

Diante do que foi visto nos parágrafos anteriores, conclui-se que é possível descrever *Supply Chain* como o gerenciamento de uma rede de negociações, estruturada de maneira ordenada, onde para cada binário de elo teremos o cliente e o fornecedor, executando três funções básicas:

1. Solicitação: nesta etapa o elo posterior da cadeia define o que quer adquirir e emite um pedido, gerando as ordens de compra (OC).
2. Resposta: esta etapa ocorre em seguida, agora o elo anterior da cadeia confirma o recebimento e inicia o processo de manufatura ou aquisição de produtos. O resultado deste processo origina as ordens de fabricação (OF)
3. Distribuição: Esta é a última etapa, onde as ordens de compra serão finalizadas e devem possuir as mesmas quantidades das ordens de fabricação.

O modelo evidenciado na figura 3.1 foi desenvolvido pelo autor para representar as relações de solicitação (que dão origem as OCs), feedback (que dão origem as OFs) e Transferência (que são as ordens de distribuição).

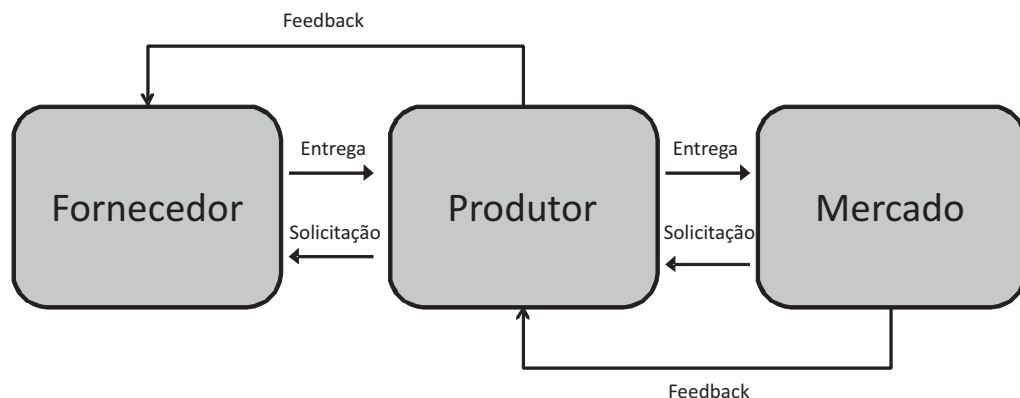


Figura 3.1: Dinâmica da Cadeia de Abastecimento

Aparentemente este processo é infalível e neste caso as OCs teriam o mesmo tamanho das OFs, em quantidade e prazo, porém fatores externos dificultam este processo e até

causam distorções. Como resultado, tem-se: estoques, pedidos cancelados, produtos entregues fora do prazo, enfim, desgastes sob todos os aspectos os dois elos da cadeia. Visto que foi mencionado que a cadeia encontra-se ordenada de forma estruturada, ter-se-á uma propagação dos distúrbios, afetando a rede inteira.

4 Gerenciamento da Demanda

"Não há ninguém tão pobre que não possa doar algo, nem ninguém tão rico que não possa receber".

Dom Helder Câmara

O gerenciamento da demanda é antes de qualquer análise o cerne do planejamento de qualquer operação. Os dados da demanda são referenciais para todas as compras, programação de máquinas e homens e contratos de transporte. Mesmo sabendo-se disto, a análise e gestão dos processos que compõem o mecanismo da demanda são deixados de lado e como últimas das prioridades no planejamento estratégico. A pergunta que todos fazem é: Por que isto acontece?

É interessante verificar que a desconfiança nas soluções quantitativas, tem raízes muito profundas, pois a falta de embasamento para elaboração de cálculos algébricos leva as pessoas a uma busca incessante por soluções paliativas, inicialmente através da contagem nos dedos, quando os valores ficam grandes, o uso da calculadora eletrônica é imprescindível, quando o volume de informação fica muito grande, as planilhas eletrônicas e os computadores passam a ser artigos de última necessidade, porém em nenhum momento é questionado ou avaliado o método, mas sim o cálculo, ou seja, o número passa a ser mais importante do que as premissas com que se chegou a ele. Em outras palavras pode-se dizer que não importa se o resultado é uma solução ótima ou apenas mais uma solução, se este resultado faz com que a empresa atinja os seus objetivos globais ou apenas os pontuais (ou melhor, instantâneos), o que importa sim é ter um resultado que possam ser exibido.

Mas como tudo no mundo dos negócios, existe um outro lado para o que foi escrito no parágrafo anterior. Analisemos mais a fundo, será que toda análise de demanda deve ser munida de modelos? Nas empresas, muitas vezes o tempo urge e exige soluções rápidas e instantâneas, sendo desta forma, é extremamente difícil modelar problemas diários, o que nos retorna ao fator humano, colocado de maneira subliminar nos dois parágrafos. O homem a frente dos modelos, ator dos processos, o tomador de decisões, este deve estar preparado para entender a realidade a sua volta, não sob a forma qualitativa, mas sob a ótica quantitativa da incerteza. É preciso que este ator deixe de lado os cálculos de álgebra básica e passe a entender o seu ambiente de maneira probabilística com conhecimento a priori, pois desta forma será possível decidir com clareza sobre objetivos globais.

Percebemos que a formação básica do homem a frente das decisões é um ponto importante no aumento da eficiência das decisões na cadeia de suprimentos. Mas qual a sua participação no processo? Grande, é certo, porém a maior, talvez. Outro ponto relevante

a ser descrito neste processo, diz respeito ao suporte tecnológico. Quais sistemas de informação estão disponíveis no mercado que fazem uma análise de estatística inferencial nos dados de demanda que as empresas alimentam nos seus bancos de dados? Os sistemas **MRP** tratam a informação sob a forma de médias móveis. Os sistemas **ERP** que evoluíram dos sistemas **MRP**, só aumentaram o tamanho dos bancos de dados. As planilhas eletrônicas, apesar de possuir, ferramentas para análise de dados são meras escravas dos seus usuários, logo beiram o limite da subutilização.

Para finalizar esta análise, o terceiro grande responsável pela falta de uso de modelos assistidos de tomada de decisão é a formação escolar. Durante toda a vida escolar, os estudantes são impelidos a pensar em matemática sob a forma de símbolos organizados de maneira sistemática, com regras definidas que você deve memorizar para obter o resultado. Neste modelo incorre-se em dois erros, primeiro, pensar que matemática é algo estático, imutável e que possui uma única solução. Segundo, que é mais importante conhecer as regras do que raciocinar como elas foram obtidas.

4.1 Modelos de Previsão de Demanda

Muitos autores vem trabalhando no sentido de quebrar o ciclo vicioso anteriormente descrito, autores como Wanke & Julianelli (2006), Araujo (2001), Moreira (1998), Simchi-Levi & Kaminsky (2002), Ballou (2001) descrevem o uso de métodos estatísticos para resolução de problemas relacionados com a gestão da demanda:

- Média Móvel
- Regressão Linear
- Séries Temporais
- Análise Multivariável

Todos os métodos descritos são eficazes e atingem o objetivo a que se propõe, porém em todos os casos as situações envolvidas tratam o problema de maneira intervalar, sendo assim os resultados obtidos só são verdadeiro em períodos específicos, logo qual a sua validade para fazer previsões em longos períodos ou melhor como dar suporte a um planejamento estratégico de *supply chain* por um período maior que o intervalo analisado?

É neste contexto que esta tese insere-se, pois neste capítulo, o objetivo não é verificar ou contestar os modelos existente, mas sim acrescentar novas idéias aos modelos de previsão de demanda e criar uma forma estruturada de operacionalizá-lo, para isto tem-se que desenvolver um caso geral de análise e a partir deste modelo geral incorporar as ferramentas para previsão de longo prazo.

4.1.1 Análise da Demanda

O modelo de série temporal pode ser analisado de duas formas:

1. Modelos Fechados: neste tipo de análise o comportamento da série histórica tem pouca variação no tocante a tendência e sazonalidade. A preocupação deste modelo é encontrar uma constante que suavize os resultados, ou seja, faça o erro padrão manter-se constante ao longo dos períodos. Podemos generalizar a expressão desta classe de modelos da seguinte forma:

$$P_{t+1} = \alpha \times R_t + (1 - \alpha) \times P_t \quad (4.1.1)$$

P_t , representa a previsão no período t

R_t , representa o resultado real de consumo

α , representa a constante de alisamento, ou seja, o fator a ser utilizado para transformar todos os resultados do erro-padrão em equivalentes.

2. Modelos Abertos: quando não se tem certeza do comportamento das componentes da série, outra forma de analisar os dados da série histórica é através da decomposição destas componentes, ou seja, Tendência (T), Sazonalidade (S), Ciclo (C) e Variações Aleatórias (A), com isso obtemos a expressão:

$$P_t = T_t \times S_t \times C_t \times A_t \quad (4.1.2)$$

Devendo-se lembrar que os valores das componentes são médios e referentes ao período analisado.

Dado o conhecimento prévio dos modelos de análise Wanke & Julianelli (2006), levantar-se-á o primeiro problema associado a melhoria da eficiência do planejamento da cadeia de suprimentos, o comportamento da demanda, ou seja, se não se sabe como a demanda varia ao longo dos períodos, logo não é possível preparar-se para as variações futuras desta variável. Até este ponto o que foi descrito não parece novidade, porém o problema que os profissionais de PCP (**P**lanejamento e **C**ontrola da **P**rodução) e Logística enfrentam é que os períodos analisados são tratados de maneira de forma discreta e sem influência entre si, o que é mais crítico! Outro ponto a ser tratado nos modelos em questão é a precisão requerida na análise, nos modelos atuais considera-se que a probabilidade de ocorrência de um valor é um. Desta forma se o desvio-padrão for muito grande as chances desta previsão ser bem-sucedida é próxima de zero.

O vários métodos de ajuste para previsão de demanda surgem da necessidade que os processos tem de verificar um valor a ser utilizado como meta para dimensionar os

recursos designados na elaboração de um produto. Esta previsão é uma tarefa muito árdua, pois são muitas as variáveis que influenciam a decisão do consumidor em adquirir um determinado produto ou se utilizar de um serviços, logo a análise deve partir de um processo probabilístico, incorporando a incerteza no cálculo da demanda.

A proposta abaixo visa tratar o problema da análise da demanda de maneira generalizada, cuja tônica básica do modelo é a simplicidade, pois em detrimento da complexidade, está sendo promovido a aplicabilidade ao usuário, logo os casos práticos poderão ser simplificados, mediante análise específica. Partir-se-á do modelo de média móvel para através da análise de dados inserir a incerteza através das probabilidades associadas ao período.

4.2 Algoritmo de Análise da Demanda

A proposta de análise da demanda a ser apresentada abaixo trata o fenômeno de dimensionamento da demanda através de duas premissas bem específicas:

1. É possível identificar uma distribuição de probabilidade para cada período especificado na análise, sendo assim é possível validar um valor que represente a incerteza do consumo observado no período descrito. Estendendo-se neste assunto, se é possível calcular a incerteza e tem-se a distribuição de probabilidade, logo é possível calcular o nível de confiança da previsão.
2. Outra premissa importante trata da viabilidade de se representar os dados de consumo através de uma função de tendência (obtida através de algum método estatístico) e aplicando o modelo de série temporal, calcular-se-á a componente de sazonalidade, em outras palavras, será possível representar a consumo através das componentes de tendência e sazonalidade da série histórica de consumo.

Partindo-se destas duas premissas o algoritmo de previsão de demanda a ser utilizado pelo autor será mostrado de maneira esquemática abaixo e descrito nas seções abaixo.

4.2.1 Determinação do valor da demanda

Na visão do autor, uma forma de resistir a tentação de aplicar modelos causais para ajuste dos dados é reduzir a incerteza da variável através do isolamento das componentes da variável. Analisando um caso específico, pede-se para calcular a demanda de um produto considerando o seu consumo registrado diariamente.

Independente do modelo a ser utilizado para cálculo do valor médio da demanda, este será representado por $\overline{D(i)}$. Analisando os dados de cada $\overline{D(i)}$ e tendo conhecimento da distribuição de probabilidade do perfil da demanda é possível definir um intervalo de

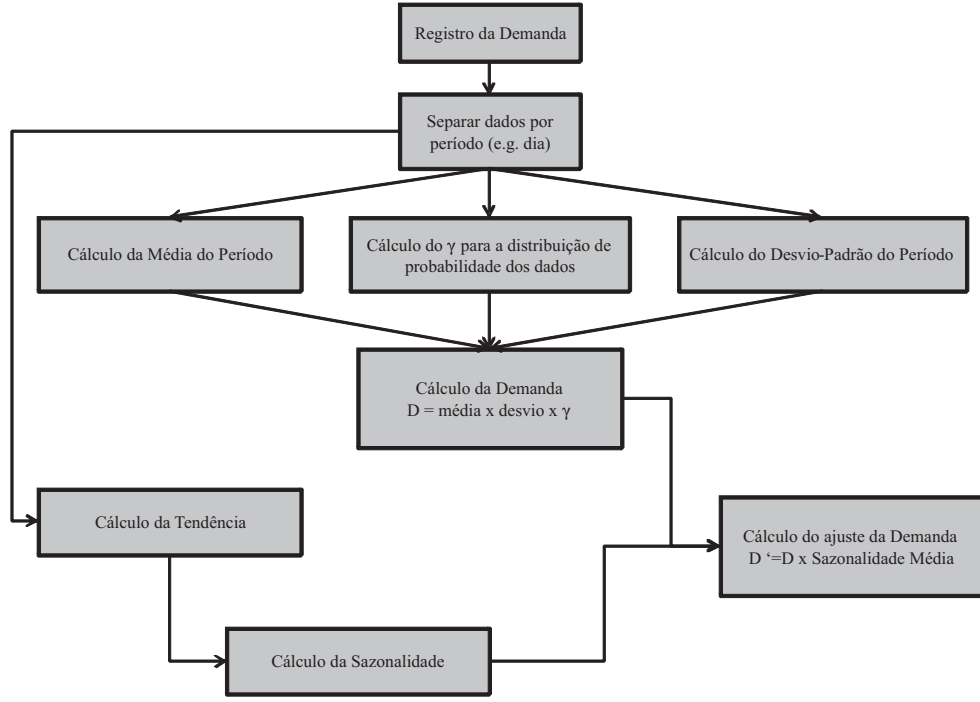


Figura 4.1: Algoritmo para Previsão da Demanda

confiança para o valor provável desta demanda. Conclui-se que a partir disto um modelo de previsão que para um nível de serviço definido ou seja:

$$F(i) = \overline{D(i)} \pm \gamma \times \delta \quad (4.2.1)$$

onde:

- $\overline{D(i)}$ é a média estatística, obtida através da série histórica de consumos, do produto i no período j .
- γ é a variável normalizada da distribuição de probabilidade para um nível de serviço específico.
- δ é o desvio-padrão do consumo do produto i no período j .

4.2.2 Análise da Tendência

Esta preocupação, quanto ao dimensionamento da demanda, deve-se a visão do autor sobre a importância deste dado no dimensionamento correto dos estoques ao longo da cadeia de abastecimento e a forma irresponsável com que os setores de PCP e Planejamento Estratégico, devido a falta de conhecimento e a simplificação matemática, vem realizando os cálculos de planos operacionais de longo prazo.

O seguindo o fluxograma definido na figura 4.1 será utilizado o modelo de análise de regressão para encontrar a função de tendência da demanda, conforme encontra-se em Moreira (1998), Wanke & Julianelli (2006). Desta forma procura-se definir a função de tendência (T) como uma equação dependente da variável tempo, ou seja:

$$T = f(tempo) \quad (4.2.2)$$

Após obter-se o valor da tendência e aplicando o modelo de série temporal (equação 4.1.2), descrito acima, é possível calcular um fator de sazonalidade (S), o qual será utilizado para corrigir o valor da demanda.

$$S = \frac{Consumo}{T} \quad (4.2.3)$$

4.2.3 Ajuste da Demanda

Dado que o fenômeno da demanda foi tratado de maneira sistêmica, ou seja, até este passo, é possível garantir que o valor observado da demanda está desmembrado em suas componentes básicas, então propõe-se um método de agregação para obtenção do valor final desta demanda, a ser utilizado pelos planejadores de produção. Na verdade o que se propõe é agregar duas informações distintas:

- Uma referente ao fenômeno de análise da demanda através da incerteza, como se observa na equação 4.1.2
- Outra referindo-se ao fenômeno de ajuste sazonal, desprezando-se os fatores causais desta sazonalidade, como observado na equação 4.2.3

O ajuste seria obtido através do intervalo de confiança representado na expressão abaixo:

Valor mínimo da demanda

$$F_i = \overline{D(i)} \times S - \gamma \times \delta \quad (4.2.4)$$

Valor máximo da demanda

$$F_i = \overline{D(i)} \times S + \gamma \times \delta \quad (4.2.5)$$

O modelo de demanda definido nas equações 4.2.4 e 4.2.5 tenta, num primeiro passo, inserir a incerteza no processo de planejamento da cadeia de abastecimento, dando força a necessidade de avaliar os perfis da demanda como forma de reduzir os erros referentes a

demora na resposta no atendimento ou geração de estoques de segurança, o quais tornam pesado e inflexível, o gerenciamento da empresa.

5 Gerenciamento de Estoques no Supply Chain Integrado Utilizando Incerteza

"Procuremos acender uma vela, ao invés de amaldiçoar a escuridão".

Provérbio Chinês

Falar de estoques é sempre um tema muito controverso, pois em muitos casos vale a máxima que todo mundo administra seus estoques com bom senso e segurança. Se assim for verdade, bom senso é algo tão democrático que todos acham que têm o suficiente e segurança é a medida do seu medo ou do seu prejuízo. Conclui-se que o gerenciamento utilizando estas duas metodologias beira a ineficácia, logo é preciso parar e repensar porque os administradores e empresários estão (literalmente) aplicando dinheiro em soluções duvidosas e arriscado a saúde financeira de seus empreendimentos de maneira tão perigosa?

A resposta para a pergunta acima passa por dois problemas bem simples, os quais foram discutidos no capítulo de previsão de demanda, logo não há motivo para voltar ao mesmo assunto. O que se pode fazer a respeito para desenvolver alguma ferramenta eficiente e que possa ser facilmente aplicada?

Pensando no problema acima resolveu-se desenvolver duas abordagens simples e que podem ser utilizadas para empresas de grande e pequeno porte. Partindo-se do cálculo do ponto de pedido, será introduzido uma variável aleatória que tem por objetivo incluir incerteza ao modelo de cálculo determinístico atualmente utilizado pelas empresas para dimensionamento do lote de compra e do ponto de pedido. A análise será realizada em duas etapas, uma não considerando o atraso e a falta de produtos solicitados e outra considerando estas variáveis. Apesar da metodologia ser bastante simples, antes de iniciar o seu desenvolvimento, é preciso tratar de dois problemas bastante frequentes nos cálculos de dimensionamento de estoques em sistemas produtivos:

- O efeito forrester, ou efeito chicote
- Incertezas associadas ao fornecimento

5.1 Efeito Forrester ou Efeito Chicote

Jay Forrester desenvolveu uma metodologia de operação em sua obra dinâmica industrial (1961), na qual verifica-se que as solicitações de um sistema produtivo, feitas a partir

de uma fonte (por exemplo, cliente final) sofre atrasos sucessivos em seu atendimento, na medida que esta informação vai caminhando ao longo dos elos da cadeia produtiva. O problema se agrava quando as distâncias são grandes e os meios de transferência de informação são arcaicos. Isto é uma verdade sólida e pode ser testada quando passamos um recado para uma pessoa que deve passá-lo para outra e outra, ao final de um número n de pessoas, a informação já deteriorou e se número de canais (pessoas) for muito grande, a informação pode se perder por completo.

Agora estendendo o exemplo para uma empresa com várias etapas entre o mercado final e o processo produtivo, ou até os fornecedores, cada vez que a informação perde a qualidade, mais estoques são gerados ou mais pedidos são perdidos por falta de produtos (figura 5.1). Forrester (1961) propõe um modelo de correção para amortizar este efeito, utilizando um sistema de equações diferenciais das demandas e recalculando o atraso em cada etapa. A idéia é muito perspicaz e tem bastante efeito numérico, porém exige que se conheça a relação de demanda e consumo de cada etapa e assume que o atraso utilizado é uma média dos últimos atrasos, desconsiderando a possibilidade de tendência sobre o atraso.

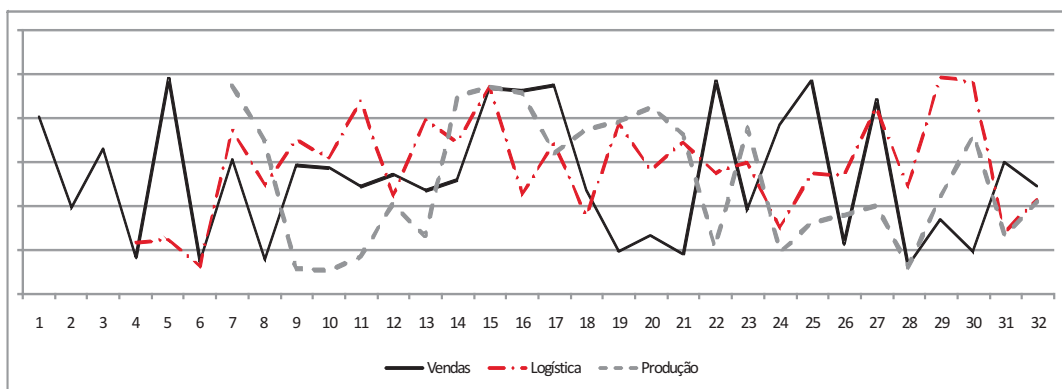


Figura 5.1: Efeito Forrester ou Efeito Chicote

Na visão do autor a idéia de amortizar o efeito chicote é de fundamental importância para qualquer empreendimento, haja vista que o tamanho dos estoques de amortização (chamados pulmões) são dimensionados a partir desta informação. O problema que verifica com muita frequência é que os parâmetros do efeito chicote são avaliados apenas em alguns pontos da cadeia de abastecimento, normalmente devido a falta de rastreabilidade das solicitações, salvo aquelas oriundas do cliente final, por razões óbvias de faturamento.

Considerando o que foi descrito no parágrafo anterior e reforçando que o problema do efeito forrester é de suma importância para os sistemas produtivos, o autor sugere uma forma alternativa de gerenciamento dos fluxos produtivos, através do uso de estoques intermediários, dimensionados conforme a função abaixo.

Considere que para um determinado sistema de produção, existam solicitações que estejam sendo entregues com \mathbf{a} dias de atraso. Se as quantidades atrasadas fossem proporcionais aos dias de atraso, bastaria antecipar os próximos pedidos em \mathbf{a} dias de produção, porém existem produtos que pertencem a uma temporada, outros mudam os níveis de demanda muito rapidamente, logo outra abordagem se faz necessária. Se para cada pedido atrasado é possível definir a quantidade pedida (Q_p) e a quantidade efetivamente consumida (Q_c), considerando-se que ao chegar no ponto de consumo, o pedido não seja totalmente necessário devido ao atraso. Sendo assim é possível calcular o desvio de consumo (DC) para cada pedido \mathbf{p} , ou seja,

$$DC(p) = Q_p - Q_c \quad (5.1.1)$$

Analizando a equação 5.1.1, percebe-se que os seus valores possíveis são $DC \geq 0$ e estarão variando em torno de uma distribuição de probabilidade que pode ser estimada, através dos dados históricos coletados. Nesta etapa é importante ressaltar que este cálculo deve ser feito para cada produto, logo para um mix \mathbf{k} de produtos, será definido um vetor $\overrightarrow{DC_k(p)}$.

Calculando-se o desvio médio de DC e nomeando-de de β tem-se que:

$$\beta = \frac{\sum DC(p)}{\text{Total de Pedidos}} \quad (5.1.2)$$

Conhecido $\overrightarrow{DC_k(p)}$, um estoque pulmão deve ser implantado para cada produto, respeitando a seguinte relação de consumo:

$$\text{Pulmão-Chicote} = Q_c + \beta \times Q_p \quad (5.1.3)$$

5.2 Incertezas no Fornecimento

Como em qualquer atividade na vida, o mecanismo da incerteza está presente, sendo responsável pela maioria das não proporcionalidades em quantidades entre as solicitações e as demandas. Uma forma simples encontrada pelos gestores dos sistemas produtivos para enfrentar este problema, foi o uso em níveis de sobrecarga das linhas de produção ou o uso de pulmões para amortizar as faltas de produtos (é importante verificar que temos os pulmões utilizados em dois casos e o que é mais comum, os dimensionamentos ficam superpostos). Nesta altura do texto, cabe um questionamento: o que é mais danoso, a falta de produtos ou o excesso destes nos estoques?

A pergunta lançada anteriormente, flutua no pensamento do autor há alguns anos. Na opinião deste, não se trata de avaliar qual dos dois casos é pior, pois ambos os casos

podem ser bom e ruim. Trata-se de avaliar porque ocorre a falta ou o excesso e como esta informação é tratada internamente na empresa. Analisando mais a fundo vê-se que:

- "Tudo estava planejado, mas não sabemos porque não atingimos a meta!", é muito comum ouvir frases do tipo, remontando a uma atitude reativa em relação a demanda, ou seja, a falta de um produto ou excesso de produtos com baixo giro nos armazéns é atribuído ao acaso e todo o ajuste destes valores é feito sem uso de modelos estatísticos. Neste tipo de cenário é possível pintar um quadro bastante pessimista sobre a pergunta citada no primeiro parágrafo e a única resposta adequada é pensar que ambos os casos são ruins.
- Porém no caso de ocorrer variações anormais na demanda não trivialmente perceptivas num modelo de previsão de longo prazo, a visão do autor aponta para um resultado positivo quanto a resposta para a pergunta do primeiro parágrafo.

Independente do que foi discorrido nos parágrafos anteriores, os processos produtivos atuais estão sendo fustigados por uma necessidade premente de inovar e atender as necessidades dos clientes de maneira irrestrita. Para isto é preciso manter produtos com baixo giro no intuito de garantir uma solicitação de pronto atendimento, ao mesmo tempo que produtos com giros altíssimos pernoitam nas áreas de estocagem, de forma a manter um pronto atendimento às solicitações dos clientes. Muitos são os fatores que controlam o processo de geração de estoques, tais como:

1. Variação na Demanda — O problema da demanda foi tratado no capítulo 3, sendo importante ressaltar para o assunto abordado nos parágrafos anteriores que a análise matemática da demanda, não dispensa a experiência do analista de mercado e marketing, o qual deve estar frequentemente verificando as variações pontuais
2. Atrasos no Fornecimento — este assunto será tratado no próximos tópicos. Numa visão bastante estreita, o fornecimento é talvez o problema mais delicado de ser tratado dentro da gestão da cadeia de abastecimentos, pois são muitos os fatores que o provocam e em todos os casos, a autonomia por parte do cliente na solução do mesmo é mínima.
3. Falta de Produtos — Da mesma forma que o item anterior, este assunto será tratado nos próximos parágrafos. Um comentário inicial sobre este assunto refere-se ao fato de que o nível de serviços dos sistemas produtivos vem crescendo muito, porém o número de novos produtos, também, propiciando que muitos produtos deixam de ser entregues por falta de tempo ou encerramento de suas promoções.

4. Existência de Gargalos na produção — Este último assunto pela sua importância será tratado em um capítulo a parte, sendo em grande parte o responsável pela ocorrência dos itens 2 e 3 desta lista.

5.2.1 Atraso nas entregas

O problema do atraso nas entregas de produtos solicitados é na visão autor o problema mais simples de ser tratado dentro do tópico, gerenciamento de estoques, pois para o elo cliente há pouco que desenvolver quanto a melhoria no nível de serviço dos fornecedores, sendo assim restam duas ações a serem implantadas: uma referente a melhoria do nível de serviço do fornecedor através de sistemas de controle ou a utilização de um grupo de fornecedores para um mesmo produto (sistema *multisource*, visto no capítulo 3). Outra forma de trabalhar o problema dos atrasos é desenvolvendo uma metodologia estatística para dimensionamento e acompanhamento do atraso.

Outro ponto a favor da simplicidade no gerenciamento dos atrasos é o fato de que estes são eventos independentes e com efeito apenas no curto prazo, ou seja, um atraso não influencia qualquer outro atraso daquele fornecedor, logo é possível tratá-lo como uma variável discreta.

A proposta é transformar o atraso numa variável aleatória e calcular o valor esperado do atraso, sendo possível dimensionar uma sobre-capacidade para os sistemas produtivos e os estoques para os sistemas clientes, conforme expressão abaixo:

Dado que um determinado fornecedor foi observado o tempo de atraso na entrega dos seus pedidos (x_i) e a frequência (f_i) de ocorrência destes atrasos, montando-se a tabela 5.1.

Tabela 5.1: Distribuição Discreta dos Atrasos nas Entregas

Atraso período	x_1	x_2	...	x_i
Frequência	f_1	f_2	...	f_i

A frequência relativa de ocorrência de cada atraso será obtida através da seguinte expressão:

$$p(x_i) = \frac{f_i}{\sum f_i} \text{ quando } i = \{1, \dots, n\} \quad (5.2.1)$$

O valor do atraso será dado por:

$$A_{\text{médio}} = \sum (x_i \times p(x_i)) + (1 - \sum p(x_i)) \times (\text{Nenhum Atraso}) \quad (5.2.2)$$

Como não ter nenhum atraso é o mesmo que fazer $x_{\text{NenhumAtraso}} = 0$, logo a equação 5.2.2 resume-se a:

$$A_{\text{médio}} = \sum (x_i \times p(x_i)) \quad (5.2.3)$$

5.2.2 Faltas

A falta de itens observados na entrega dos pedidos solicitados pelos elos clientes de uma cadeia de abastecimento, é um fator preponderante para o funcionamento eficiente dos processos produtivos, sendo mais explícito, o problema da falta traz consigo dois novos problemas com magnitudes muito grandes:

- O primeiro diz respeito a falta de planejamento do cliente para a falta, ou seja, quando alguém faz uma solicitação a um fornecedor e recebe sinal verde para o seu atendimento, logo as negociações com outros fornecedores serão extintas e o cliente desenvolve todo o seu planejamento contando que o pedido seja entregue completamente.
- O outro problema é o fato de que, na maioria dos casos, os clientes só são avisados da não totalidade do pedido durante o recebimento deste ou poucos dias antes, logo voltando ao problema do planejamento, algumas ações deveriam ser repensadas para adequarem a nova realidade.

Nos dois casos citados anteriormente é possível verificar que a mobilização para a mudança das diretrizes gera um esforço gigantesco, e o pior por motivos alheios a vontade do cliente. Resta agora perguntar, o que fazer para se proteger desta armadilha?

O autor propõe uma abordagem similar aquela desenvolvida na equação 5.1.3, no qual parte do desvio em relação a quantidade solicitada e calcula-se um fator de ajuste, ou seja, definindo-se Q'_p , como a quantidade pedida pelo cliente e Q_e , como a quantidade entregue pelo fornecedor, logo é possível obter um fator ω , calculado segundo a expressão abaixo:

$$\omega = \frac{\sum (Q'_p - Q_e)}{\text{Total de Pedidos no Período}} \quad (5.2.4)$$

Concluindo-se que o estoque dimensionado para amortização das perdas será dado por:

$$\text{Pulmão-Falta} = \omega \times Q'_p \quad (5.2.5)$$

5.3 Cálculo do fator de atendimento

O termo *Lead Time* (LT) ou tempo de ressuprimento, talvez seja a informação comum na boca dos gerentes de processo de qualquer empresa, curiosamente, esta também é

a variável mais desconsiderada quando se fala em gerenciamento de estoques. Alguns motivos contribuem para isto:

- Mais uma vez o desconhecimento sobre modelos assistidos que auxiliem os sistemas de planejamento integrado, é uma lacuna que precisa ser preenchida. Toda informação que se tem sobre o *Lead Time* baseia-se na certeza de que o fornecedor informa os seus tempos de atendimento e a empresa acredita que eles não flutuam por uma média estatística. Quando se ouve falar sobre este assunto é possível perceber requintes de crueldade, do tipo: "O nosso tempo médio de atendimento é de Y dias, porém depende das condições das estradas" ou até "Nosso *lead time* é de Z dias, mas estamos trabalhando no máximo nestes últimos meses e por isso pode acontecer alguns atrasos". Resumindo na verdade ninguém sabe o que é tempo de ressuprimento, assume que é um valor fixo e não tem relação com as variáveis do ambiente empresarial.
- O outro motivo para o descaso quanto ao cálculo do tempo de ressuprimento tem haver com a completa falta de vontade em aplicar análises estatística e programação linear, abrindo um abismo gigantesco entre o que se planeja e o que é praticado nos sistemas produtivos.

A proposta não é questionar a forma de calcular o ponto de pedido, pois é muito difícil convencer a qualquer gerente de operações que a quantidade a ser solicitada para o atendimento de um pedido do cliente seja diferente do valor total do pedido, porém é extremamente fácil convencê-los quando este pedido deve ser solicitado, pois esta informação mexe no desembolso direto de capital da empresa.

A idéia central é utilizando o cálculo do ponto de pedido apresentado em Moreira (1998) e Ballou (2001), nos quais o ponto de pedido (PP) é calculado por:

$$PP = \text{consumo} \times LT \quad (5.3.1)$$

Analisando mais profundamente esta equação é possível tecer alguns comentários:

Pela natureza do consumo, verifica-se uma relação muito definida entre a quantidade e o tempo, além de que esta relação não é constante, logo conclui-se que $\text{consumo} = f(q, t)$, onde q representa a quantidade consumida e t o período de tempo deste consumo, logo a maneira mais palpável de tratar a relação de consumo é expressá-la sob a forma de uma taxa de variação, ou seja,

$$\Delta \text{Consumo} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (5.3.2)$$

O cálculo do ponto de pedido definido nos parágrafos anteriores, considera que em todos os casos o valor calculado para o LT atende perfeitamente a demanda solicitada, o que dever ocorrer se o fornecedor atrasar a entrega de seu pedido? A equação 5.2.3 pode contribuir nesta resposta, visto que se em alguns casos puder ser verificado um atraso no atendimento dos pedidos, então o valor do *Lead Time* deve ser corrigido para amortizar este fenômeno. Uma sugestão para incluir a amortização é utilizar a seguinte expressão:

$$LT_{\text{corrigido}} = LT + A_{\text{médio}} \quad (5.3.3)$$

Diante do que foi posto anteriormente, o mais lógico seria reescrever a equação 5.3.1, sob a forma abaixo:

$$PP_{\text{corrigido}} = \Delta \text{Consumo} \times LT_{\text{corrigido}} \quad (5.3.4)$$

De maneira esquemática, teremos o fluxo dos estoques ocorrendo conforme a figura 5.2

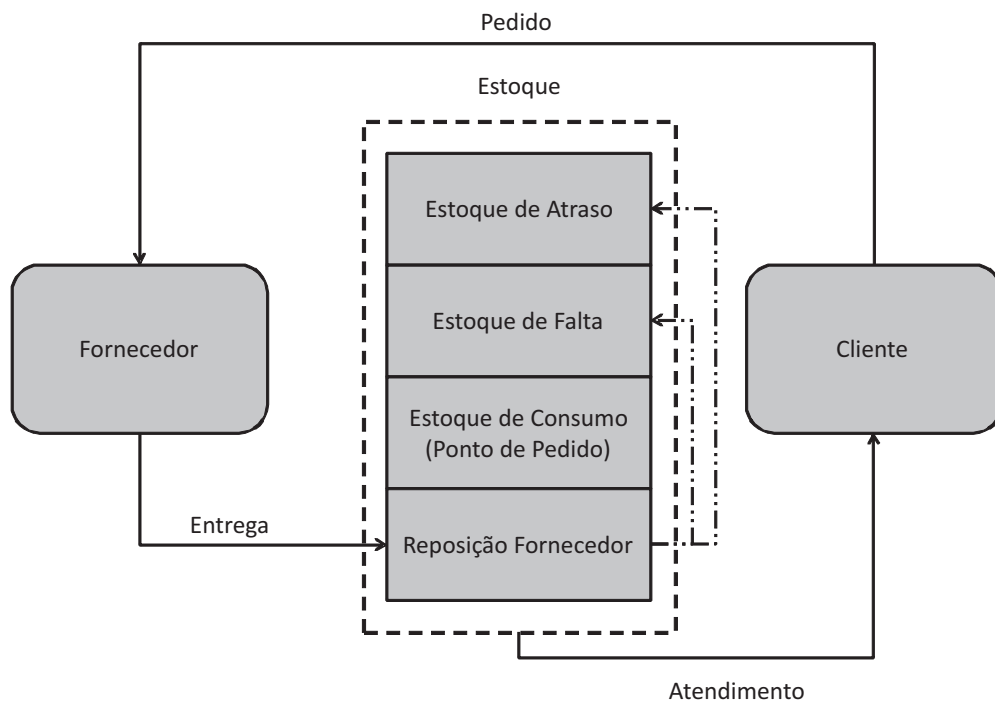


Figura 5.2: Gerenciamento dos Estoques

6 Integrando os Elos da Cadeia de Abastecimento

"Um homem inteligente aprende com os seus erros, mas um homem sábio aprende com os erros dos outros".

Eliyahu Goldratt

Os homens cada vez mais se isolam na sua ilha da conectividade que vem contagiando todos os indivíduos pensantes e principalmente, economicamente ativos fazendo com que vizinhos, colegas de trabalho e até casais passem a se comunicar através de sistemas de informação, esquecendo-se do boa e velha conversa pessoal. Analisando mais a fundo, estes fatos são apenas consequências de um modelo de progresso baseado na eficiência e na impessoalidade.

Aparentemente os fatos citados anteriormente não possam ser conectados no trabalho em questão, mas explorando mais a fundo, encontra-se uma conexão de ordem estrutural. Em um mundo que se movimenta a velocidade assustadora, as empresas convivem num ambiente de taxas de obsolescência altas, ciclos de vidas dos produtos cada vez mais curtos, clientes com necessidades personalizadas com exigências inovadoras e principalmente, o acesso democrático a informação, dando ao consumidor um poder de barganha nunca visto anteriormente no mercado. Os fatores citados anteriormente, já seriam suficientes para tirar o sono de qualquer gerente de negócios, porém o melhor vem agora, pois todas estas necessidades solicitadas pelo cliente são recheadas com o desejo de pagar cada vez menos (lembre-se que falamos de aumento da pobreza no mundo), logo as empresas são obrigadas a aumentarem seu desempenho e reduzir custos, contanto gorduras para enxugar os processos e se preciso, até roer o osso, de forma que as necessidades dos clientes sejam atendidas.

Considerando tudo descrito até agora, a pergunta importante a ser feita é: Como equacionar tantas solicitações em um único objetivo? Será que é possível encontrar um ponto de equilíbrio entre atender as necessidades do cliente e atender as necessidades do negócio?

6.1 A visão geral do problema

A maneira mais simples de expor o método que será utilizado neste trabalho é começar falando dos problemas que ele irá tratar. Numa visão global, o grande problema para

atendimento ao que é solicitado por qualquer cliente é a incerteza sobre o que, em que quantidade, quando e onde o consumidor vai querer um produto (bens e/ou serviços). Esta incerteza, apesar de compreensível e desconfortável é extremamente salutar por dois motivos: permite a empresa saber que existe espaço para crescimento do *market share* e o outro motivo é que põe todas as empresas em condições de igualdade quanto a capacidade de conquistar o cliente.

Analisando a cadeia de suprimentos como um todo, não é muito difícil perceber que se a empresa não registra adequadamente o que produz e não tem modelo de decisão estruturado, fica claro que a única forma de garantir o atendimento das necessidades do cliente é enchendo os armazéns de estoques e ficar aguardando o cliente decidir comprar. Não é preciso ser um grande gestor de negócios para perceber os problemas advindos desta maneira de gerenciar:

- Produtos que não chegam na hora prevista.
- A empresa tem o produto solicitado pelo cliente, porém longe do local de consumo.
- A empresa não consegue atender corretamente as quantidades solicitadas pelos clientes.
- O custo do produto aumenta, devido ao aumento do tempo médio de permanência dos itens nos armazéns.

Uma forma aparentemente simples de resolver alguns dos problemas descritos acima é desenvolver alternativas comerciais a falta de um produto. Desta maneira o mercado é inundado por novos produtos, dia após dia, na intenção de aumentar a capacidade de escolha do consumidor, em outras palavras, se a empresa não consegue garantir o produto certo no lugar certo, na quantidade certa, pelo menos existem muitos outros produtos substitutos que o cliente pode optar (se possível, da mesma empresa).

Outra forma interessante que as empresas tem de minimizar o impacto da falta de gestão integrada é superdimensionar a cadeia de abastecimento, ou seja, cada elo da cadeia vai sendo inflado com uma superestocagem, as empresas clientes que fazem parte do canal de distribuição e vendas compram e armazenam quantidades de itens num volume maior do que a sua demanda com a intenção de reduzir a incerteza no atendimento ao cliente, afinal de contas a atividade fim deles é vender produtos. Esta situação é talvez a mais perversa de todas, pois na visão do fornecedor (indústria de bens ou serviços) a equação é simples, não é preciso guardar os estoques, pois os clientes (os quais normalmente, não são os clientes finais) são muitos e estão dispostos a absorver a incerteza, logo produz-se em escala e os custos caem. O papel do fornecedor é oferecer condições de pagamento adequadas para estes estoques. Já para o cliente, o qual é fornecedor do cliente final, a

situação é o oposto, ou seja, todo o excedente da produção está guardado neste elo, não há como criar condições de escala, logo a única forma de reduzir a incerteza é reduzindo os preços e aumentando o giro das mercadorias, em alguns casos, porém com a redução da lucratividade.

6.2 O problema a ser estudado

Este trabalho visa analisar dois pontos de vista diferentes (o do fornecedor e do cliente) e criar uma forma de alinhar as ações de maneira a garantir o melhor nível de desempenho. O problema que está sendo estudado diz respeito a incapacidade que os elos da cadeia de abastecimento têm em se comunicar de maneira eficaz. É preciso esclarecer que a comunicação mencionada, nada tem haver com integração através de sistemas de informação, mas sim de comunicação de objetivos estratégicos e operacionais. Sobre este assunto é possível encontrar muitos problemas por parte das empresas que mal conhecem os seus clientes, o que dizer dos seus fornecedores e sendo assim, cada um trabalha na intenção de maximizar a sua função lucro e minimizar a sua função custo, criando ótimos locais, o que não diz nada sobre os ótimos globais na cadeia de abastecimentos.

Desta forma, verifica-se um problema de falta de alinhamento, pois um processo de arbitragem e negociação entre partes ou muitas contratuais ou ainda regras rígidas para escolha e gestão de fornecedores podem ser suficientes para resolver os conflitos e não conformidades no fornecimento de produtos. Na verdade seria ótimo que tudo pudesse ser resolvido com soluções superficiais, porém o que verifica-se na prática é que os problemas de estoques e atendimento continuam acontecendo, mesmo após o uso de caríssimos software e de várias rodadas de negociações, logo uma questão angustiante surge: Será possível conseguir ótimos globais, sem passar pelos ótimos locais?

Relembrando a teoria das restrições do Dr. Eliyahu Goldratt (2003), entende-se que a resposta para a pergunta acima é sim! O que precisa ser desenvolvido é uma metodologia para que todos os elos da cadeia de abastecimento ajam na mesma direção (percebe-se que o autor não pede que todos pensem na mesma direção, mas suas ações devem refletir uma preocupação com o ótimo global).

6.3 Gerenciamento por indicadores

O primeiro passo para desenvolvimento da metodologia de alinhamento de ações é implementar o gerenciamento por indicadores, ou seja, entende-se que a única forma de realizar uma mudança eficaz no gerenciamento dos elos de uma cadeia de abastecimento é garantindo que cada parte do sistema responsável pelo atendimento das necessidades

do cliente estejam sabendo qual é a real necessidade do cliente, qual a sua contribuição no todo e qual o impacto de suas ações no resultado final. Muito já foi descrito sobre este assunto e muitas são as formas de solucionar empregadas, pode-se citar: gestão por projetos, previsão de demanda, gerenciamento por objetivos. Todos estes modelos são eficazes, mas atuam na consequência, no resultado final, porém o que se quer demonstrar é que quando se analisa as necessidades do cliente e converte-as em ações simples é possível transferir esta informação para qualquer pessoa responsável pelo atendimento desta necessidade. O modelo a ser empregado será descrito nas etapas abaixo.

6.3.1 Identificação de indicadores

Nesta etapa a preocupação em levantar informações sobre o que torna o produto interessante para o cliente e qual a contribuição da empresa nestes componentes. Após o levantamento dos fatores competitivos, estes serão agrupados e definem o que chamaremos de **Visão Atual**. A visão atual será utilizada para montar a **Visão Desejável** na qual o cliente determina as suas aspirações futuras quanto ao produto e a empresa descreve as ações necessárias para atingir este objetivo. Por último desenvolve-se a **Visão Vencedora** onde a empresa expressa quais ações são possíveis de serem implementadas para superar as expectativas dos clientes. Em todas as visões são utilizados indicadores obtidos em rodadas de *Brainstorm* direcionadas para elaboração de dados quantificáveis e principalmente, intercambiáveis entre todos os elos da cadeia de abastecimento. Esta etapa é dividida em 6 partes descritas a seguir:

Mapa das Necessidades

A metodologia desta etapa está baseada na capacidade da empresa em escolher os gerentes dos processos que estejam relacionados com o atendimento direto das necessidades dos clientes. Estes gerentes deveram ser postos em uma rodada de *Brainstorm* em que deveram interagir de forma a elaborar o mapa de causas prováveis (apêndice A) no qual esteja descrito:

1. As necessidades dos clientes.
2. Como cada processo contribui para o atendimento destas necessidades.
3. Qual o grau de importância de cada necessidade.

A elaboração deste mapa é de suma importância, pois provoca uma reflexão sobre o que a empresa entende ser importante para o cliente e quais as ações estão sendo desenvolvidas para o atendimento destas necessidades. É previsível que a construção deste

mapa esteja envolta numa névoa de auto-suficiência e alto desempenho, porém é importante a elaboração deste mapa para obrigar os gerentes a desenvolverem um pensamento estruturado sobre a relação produto mercado. Outro ponto a ser ressaltado nesta etapa é que as contribuições descritas pelos gerentes devem ser objetivas e quantificáveis, pois serão utilizadas para a elaboração de um indicador.

Mapa dos Desejos

O próximo passo do método é o levantamento da relação de importância das necessidades do cliente. Desta forma será elaborado uma planilha relacionando as necessidades que os clientes tem, o grau de importância que este cliente dá a sua solicitação e o nível mínimo de tolerância. Estas informações são importantes mesmo que analisados isoladamente, pois definem o atual estado de atendimento e quais melhorias devem ser analisadas em relação aos produtos oferecidos e determinam um nível de alerta para que a empresa reflita sobre sua forma de atendimento.

Esta é uma etapa muito importante, pois os dados levantados no mapa dos desejos serão cruzados com os dados com os dados do mapa das necessidades, de forma a obter um cenário parcial da operação da empresa no mercado. Vê-se que este cenário está longe de ser algo completo, visto que analisamos as possibilidades de melhorar o nível de serviço do mercado.

Como já foi descrito no parágrafo anterior, a finalidade desta etapa é fazer um cruzamento entre as necessidades dos cliente e as necessidades sugeridas pela empresa que oferta o produto (bens ou serviços). É possível identificar semelhanças em várias linhas dos dois mapas. Ao final do processo, deve-se forçar a seguinte solução:

1. Todas as necessidades com características semelhantes devem ser agrupadas em uma necessidade mais genérica possível.
2. Depois de explorar profundamente as possibilidades de agrupamento das necessidades, deve-se listar todas e procurar semelhanças quanto ao nível de influência da decisão, formando-se assim macro grupos.
3. Adaptando-se as idéias de Kendal (2007), foram definidos os seguintes grupos, os quais devem ser alocados em quatro áreas de indicadores:
 - Indicador de Lucro: Responsável por todas as ações a serem desenvolvidas que tenham impacto no aumento da lucratividade, baseando-se no atendimento das necessidades dos clientes.

- Indicador de Estoques: Responsável por todas as ações a serem desenvolvidas para dimensionar o sistema de armazenagem, baseando-se no atendimento das necessidades do cliente.
- Indicador de Lead Time: Responsável por todas as ações a serem desenvolvidas para dimensionar o tempo de atendimento as solicitações do cliente dentro das suas expectativas.
- Indicador de Custo: Responsável por todas as ações a serem desenvolvidas para atender as necessidades dos clientes, dentro de um custo compatível com as expectativas da empresa.

Esta metodologia deve ser implementada em todos os elos da cadeia de suprimento, de forma a desenvolver a **Visão Atual** da cadeia de abastecimento. É importante frisar que esta definição de indicadores não se esgota nos itens acima, pois algumas necessidades locais e específicas de uma determinada empresa pode requerer o uso de um novo indicador ou a supressão de algum citado acima.

6.3.2 Análise de Restrições

A visão atual deixa claro o nível de operação da relação da operação cliente-fornecedor, porém nada diz sobre a dificuldade que cada processo tem em atender as solicitações ou se as interrelações entre os processos e/ou elos podem afetar o desempenho final do todo.

Para resolver este problema será utilizada uma abordagem baseada na teoria das restrições (GOLDRATT,2003) que propõe a identificação dos gargalos de processo e uma metodologia de cinco passos para contornar o gargalo.

Passo 1 — Identificar a Restrição

A tônica deste passo é identificar dentro da cadeia de abastecimento qual o elo no qual o fluxo de material perde velocidade, pois sendo assim todo restante do ciclo passa a ter sua capacidade determinada por este elo. É possível prever que nem todos os fornecedores estejam dispostos a trabalhar em uníssono com o elo mais lento, mas cabe aos processos clientes controlarem suas demandas para evitar uma sobrecarga de todos os elos ao mesmo tempo, visto que ninguém poderá se mover mais rápido do que o elo gargalo. Uma forma simples ensinada pelo Dr. Goldratt para identificação de recursos restritivos é olhar para todos os recursos procurando avaliar a relação demanda-capacidade. Especificamente no problema tratado neste trabalho seria lógico avaliar esta relação através das seguintes variáveis :

- Maior Lead Time — O tempo de ressuprimento alto pode trazer grandes problemas para qualquer empresa. Na análise corrente deve-se verificar o impacto do tempo de

ressuprimento na elaboração total do produto. Isto pode ser feito facilmente através do desenho de uma rede de pert/cpm, onde indicaremos o caminho crítico como o caminho das restrições e o recurso responsável pelo maior atraso, será nomeado como gargalo.

- **Maior Lote de Compra** — o lote de compra é um indicativo tangível da capacidade do fornecedor em atender as necessidades do cliente. Para os fornecedores que permanentemente demonstram uma incapacidade em reduzir os seus lotes de transferência podem trazer inconvenientes à gestão de materiais dos clientes, logo se ao avaliar o impacto do tamanho do lote na gestão interna do cliente, é possível identificar um recurso gargalo.
- **Maior Quantidade de Recursos de Transformação Empregada** — De acordo com Slack(2002), os recursos de transformação são descritos por todos aqueles que agem sobre os recursos que mudam de forma para a confecção de um produto. O número de funcionários ou equipamentos utilizados para transformação de matérias-primas pode trazer resultados negativos no processo global (tanto do ponto de vista financeiro, quanto de tempo). Os processos que apresentam estas características podem ser identificados como processos gargalos.
- **Maior Atraso** — Atrasar uma entrega ou a liberação de uma ordem tem como consequência direta a redução da eficiência e no longo prazo a paralisação de um ou vários processos, logo os elos da cadeia de suprimento de se utilizam desta política como forma de aumentar o número de clientes e depois "gerenciar" o excesso da demanda podem trazer problemas aos processos clientes, logo podem ser considerados recursos gargalos

Passo 2 — Explorar a Restrição

Este passo depende da identificação real da causa pelo qual um recurso é definido como gargalo. Considerando a visão de Goldratt (2003), as formas de explorar o gargalo se resumem a:

1. **Procurar capacidade escondida nos processos e utilizá-la ao máximo** — É preciso ser um pouco crente para entender esta afirmação, mas de uma forma bem simples, o que se preconiza é que qualquer processo tem capacidade ociosa, devido a falta de inovação ou ao vício de copiar o que está dando certo. A maioria das empresas e por seguimento os seus processos, costumam dimensionar a sua capacidade baseada em padrões mercadológicos (fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos, sindicatos e até pelos concorrentes), sendo assim quando quando ocorre uma recessão, todos os

processos caem porque trabalham da mesma forma. Numa visão mais abrangente o que se sugere é:

- Reduzir o tempo parado nos intervalos de troca de turno.
 - Redução dos tempos de *setup*.
 - Diminuição do número de *setups* nos recursos gargalos.
 - Fornecimento contínuo de materiais para os recursos/elos gargalos, através do dimensionamento de pulmões ou sistemas de reposição contínua.
2. Reduzir o excesso de materiais nas etapas seguintes aos recursos/elos gargalos — Aparentemente esta atitude não tem qualquer impacto na melhoria da gestão dos gargalos, mas pode-se verificar que quando os processos não-gargalos ficam descarregados, imediatamente sobram mais pessoas e equipamentos para auxiliar o recurso gargalo no seu funcionamento, pois uma carga do gargalo é transferida para outras etapas fazendo o gargalo respirar. Na visão da cadeia de abastecimento a forma mais simples de implementar esta técnica é:
- Reduzindo o número de fornecedores para os itens comprados.
 - Desenvolvendo uma cadeia em que tem-se um fornecedor que entrega vários itens.
 - Desenvolvendo vários fornecedores para os itens que fazer parte do recurso/elo gargalo.

Passo 3 — Subordinar todos a Restrição

Esta, talvez, seja a etapa de mais simples compreensão, mas com certeza a de mais difícil implementação, pois parte do pressuposto que todos os gestores dos processos tenham conhecimento quanto ao objetivo que os une. Em primeira instância é importante definir para todos os envolvidos na gestão da cadeia de suprimento que o objetivo comum a todos é a vontade de maximizar os seus lucros. Sendo assim, todos os processos devem ser dimensionados para que o recurso mais lento seja lucrativo.

Matematicamente falando e utilizando a nomenclatura usada nos parágrafos anteriores, pode-se definir o indicador de lucro como uma função

$$\text{Lucro (L)} = f(\text{Custo}, \text{Lead Time}, \text{Estoques})$$

Para que seja possível atingir o lucro máximo em todos os elos da cadeia de abastecimento teremos que maximizar a função lucro do gargalo, pois se assim não for definido, o sistema terá uma falsa sensação de lucro em alguns períodos, seguidos de prejuízos nos períodos seguintes.

A grande dificuldade enfrentada nesta etapa do método é que todos os elos da cadeia de suprimento devem compreender o modelo da teoria das restrições como um todo, senão é impossível compreender que a redução do lucro em um período específico fornece um lucro global maior no longo prazo.

Passo 4 — Elevar o nível da Restrição

Dado que o passo 3 foi vencido, esta etapa é uma consequência direta da aplicação do método, pois a única forma de garantir que o nível de capacidade da restrição seja aumentado, aumentando por sua vez o nível total de capacidade da cadeia de suprimentos é aplicando a mesma metodologia do passo 3 para os indicadores de *Lead Time*, de Custo e de Estoques.

Sendo assim, as funções de operação serão definidas por:

$$\begin{cases} \text{Custo (C)} = f(\text{quantidade produzida}) \\ \text{Lead Time (LT)} = f(\text{quantidade produzida}, \text{tempo}) \\ \text{Estoques (E)} = f(\text{quantidade produzida}, \text{tempo}) \end{cases}$$

Estas funções devem ser divulgadas para todos os elos da cadeia de suprimentos de forma que cada processo deverá desdobrar esta metodologia para os processos internos garantindo assim que os recursos gargalos estejam trabalhando no máximo da sua capacidade.

Passo 5 — Voltar ao Passo 1

A parte mais interessante na metodologia descrita pela teoria das restrições é que ao chegarmos no passo 5, conclui-se que gargalo do processo moveu-se para frente ou para trás na cadeia de suprimentos, ou seja, um elo que não era gargalo, com a elevação do nível do gargalo, tomou o seu lugar e desta maneira todos os agentes do processo são obrigados a girar o método novamente, encontrando soluções para o novo gargalo.

O método de 5 passos descreve uma forma de operação que agrada a maioria dos elos da cadeia de abastecimento, pois garante uma condição viável para, praticamente, todos os elos da corrente de produção. Neste *status Quo* estaremos nomeando de **Visão Desejável**, este modo de operação, que visa a garantia da lucratividade no médio e longo prazo.

Porém uma pergunta surge de imediato: se os sistemas de produção são influenciados pelas condições mercadológicas e as previsões de demanda possuem um grau de inexatidão, logo como garantir que esta metodologia seja viável quando o sistema começar a reagir as mudanças do mercado? Será preciso garantir um ferramental dinâmico de análise que seja capaz de encontrar soluções ótimas a nível global.

Esquemáticamente pode-se visualizar o processo de melhoria de acordo com a figura 6.1.

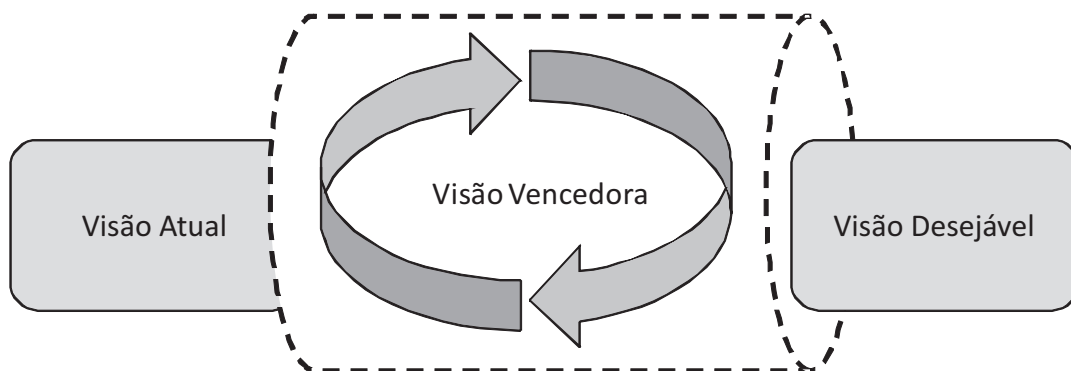


Figura 6.1: TOC aplicada a Cadeia de Abastecimentos

6.4 Encontrando Ótimos Globais

Percebe-se que a elaboração destes indicadores forma uma teia de interrelações entre os indicadores, sendo assim é preciso encontrar uma forma de potencializar o resultado obtido pelo conjunto deles, lembrando-se que a condição de máximo de cada ponto não garante o ponto de máximo em todos os pontos da rede.

O problema a ser contemplado nesta etapa do trabalho é que o processo de melhoria definido pela teoria das restrições, define que a melhor situação para operação de um sistema de produção é dada pela melhor operação dos sistemas gargalos. Isto de um forma simplista torna o trabalho de análise dos elos de qualquer sistema produtivo, pois não há mais necessidade de calcular o ponto de operação em todas as etapas do sistema, visto que o cálculo dos recursos restritivos já será suficiente para definir todo funcionamento do sistema.

Trazendo a tona a visão de Forrester (1965) é possível concluir que qualquer sistema de produção pode ser descrito como um sistema dinâmico, complementando esta visão com a idéia de Goldratt (2003) da análise dos gargalos fica claro que todo sistema de produção possui gargalos e que eles, pela natureza do sistema produtivo, assumem características dinâmicas, logo a única forma de garantir que o sistema com um todo tenha um ponto ótimo de operação deve-se tratar os gargalos como sistemas dinâmicos.

Encontra-se na literatura muito já escrito sobre sistemas dinâmicos, logo utilizar-se-á Colin (2007) para descrever este tipo de otimização e aplicá-la a sistemas gargalos. Um processo produtivo pode ser representado como uma seqüência de vários subprocessos no qual alguns tem capacidade superior a sua demanda e outros a capacidade é inferior a demanda solicitada, estes últimos são chamados de recursos restritivos críticos ou simplesmente gargalos. esquematicamente podemos verificar este modelo na figura 6.2.

Considerando que o processo 2 seja um recursos gargalo, logo conclui-se facilmente que o ponto de operação ótimo para os processos 1 e 3 é dado no ponto ótimo do processo

2. Indo mais a fundo na ilustração, verifica-se que o sistema sofre influência das condições de contorno, ou seja, solicitações e feedback, mais explicitamente qualquer variação entre estas condições pode fazer com que o gargalo se movimente para frente ou para trás ao longo da cadeia produtiva, logo qualquer ponto de ótimo deve ser recalculado, a medida que as condições de solicitação e retorno sejam alteradas.

Olhando com mais detalhes em cada um dos processos e usando a lente da programação dinâmica pode-se identificar algumas componentes que serão úteis no cálculo do ponto de ótimo. Utilizando a nomenclatura encontrada em Colin (2007) e com a ajuda da figura 6.3, um processo genérico de um sistema de produção pode ser representado através das seguintes componentes:

- S_{t-1} , a qual representa a sua condição de entrada.
- S_t , a qual representa a sua condição de saída.
- x_t , a variável de saída.
- $f(S_{t-1}, x_t)$, representando a função custo operacional ou o retorno esperado
- $\phi_t(S_{t-1}, x_t)$, esta função representa o processo de transformação.

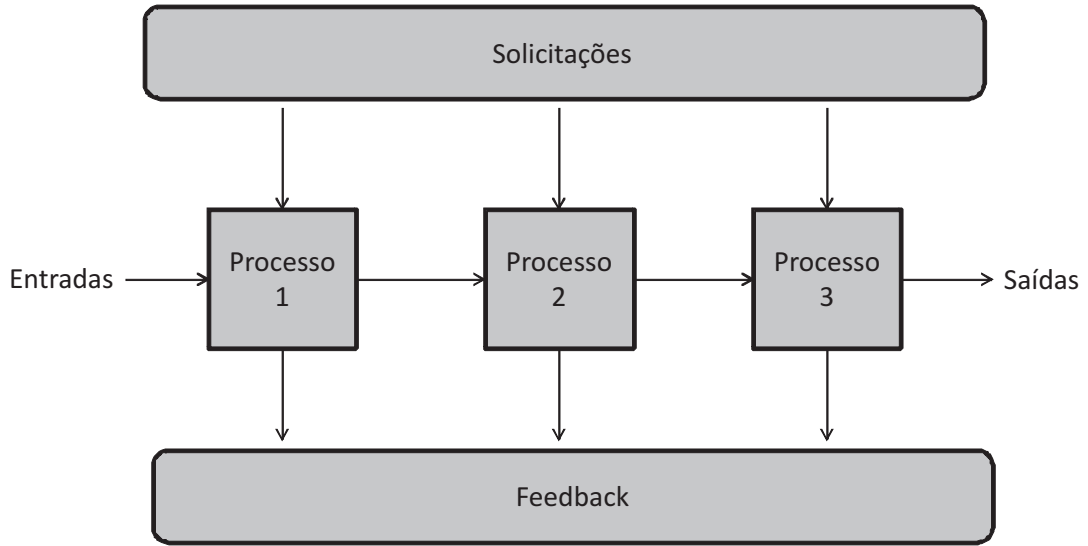


Figura 6.2: Dinâmica dos Processos Produtivos

Conhecendo-se a função de transformação de cada processo (ϕ_t), conclui-se que para atingir o resultado ótimo para o sistema como um todo é preciso satisfazer a seguinte expressão:

$$MaxZ = \sum_{t=1}^T f_t(S_{t-1}, x_t) \quad (6.4.1)$$

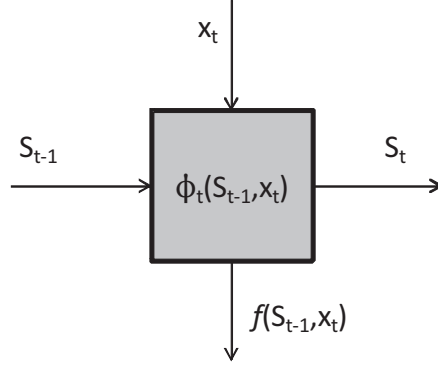


Figura 6.3: Otimização Dinâmica

sujeito a

$$\begin{cases} S_t = \phi_t(S_{t-1}, x_t) \text{ para } t=1, 2, 3, \dots, T-1 \\ S_0 \text{ é o estoque inicial do sistema é um valor conhecido.} \\ f_t \text{ e } \phi_t \text{ podem ter qualquer formato.} \end{cases}$$

Utilizando os indicadores definidos nos passos 3 e 4, a função de otimização que será utilizada para os recursos gargalos será:

$$MaxZ = \sum_{t=1}^T L_t(E_{t-1}, LT_t) \quad (6.4.2)$$

sujeito a

$$\begin{cases} E_t = \phi_t(E_{t-1}, LT_t) \text{ para } t=1, 2, 3, \dots, T-1 \\ E_0 \text{ é o estoque inicial do sistema e um valor conhecido.} \\ L_t = f(C_t, LT_t, E_t) \\ \phi_t \text{ pode ter qualquer formato.} \end{cases}$$

A equação 6.4.2 deverá ser aplicada aos recursos gargalos, descrevendo as condições ótimas de operação. Ao aplicar o modelo de 5 passos, todos os recursos serão subordinados aos gargalos, garantindo assim uma condição ótima de operação para toda rede de abastecimento.

7 A Estrutura Dinâmica de uma Cadeia de Suprimentos

Quem conduz e arrasta o mundo não são as máquinas, mas as idéias.

Victor Hugo

A idéia central deste capítulo é consolidar as idéias referentes ao que já foi discutido nos capítulos anteriores e ao que se sabe sobre a cadeia de abastecimento, introduzindo uma nova visão quanto a forma de avaliar os relacionamentos entre os elos de abastecimento. No capítulo 6 foi levantado a necessidade de analisar a cadeia de abastecimento sob a ótica dos gargalos, pois eles comandam as relações demanda-fornecimento internas aos processos produtivos, logo guiam a tomada de decisão desta relação entre elos de uma cadeia de abastecimentos.

O assunto a ser tratado é de suma importância para todas as empresas que fazem parte de uma rede de abastecimento, porém na análise corrente, será tratado o aspecto técnico da relação cliente-fornecedor. Outros aspectos como interesses mercadológicos, barganhas e limitações contratuais, apesar de importantes para descrever o funcionamento da rede de suprimentos não serão abordados devido a extensão e complexidade que o trabalho exigiria para ser concluído.

O ponto a ser transcorrido neste capítulo é o desenho da cadeia de abastecimento através do modelo da matriz insumo produto de Leontief (1966). O motivo da escolha deveu-se ao fato de que a representação insumo-produto resume de maneira concisa as relações de fornecimento (sejam elas de materiais ou de mão-de-obra) para elaboração de um determinado produto. Neste caso é possível extrapolar a estrutura do modelo e definir que as quantidades produzidas apresentadas na matriz, estejam lá para atendimento de uma demanda, logo é possível saber quais insumos são necessários, suas fontes de fornecimento e se estas fontes estejam na primeira camada de fornecedores ou nas camadas precedentes (ou seja, os fornecedores dos fornecedores).

Como foi visto no capítulo 3, a cadeia de abastecimentos é uma simbiose entre várias empresas com interesses comuns (produzir seus produtos) e que estão ligadas pelas operações de produção e fornecimento. Esta interdependência nem sempre é harmônica, devido a vários fatores:

1. Falta de comunicação entre o elo cliente e o elo fornecedor, quanto as requisições de materiais, mão-de-obra e serviços. Esta lacuna causa atrasos nos fornecimentos, entrega de produtos com quantidade discordante, necessidade de pedidos com

quantidades de segurança.

2. Como o relacionamento entre os elos se dá com entidades diferentes (em alguns casos, juridicamente), é comum que os modelos de gestão sejam diferentes, sendo assim, os tempos de processamentos de uma solicitação podem ser diferentes, ocasionando lacunas semelhantes aquelas do item 1.
3. Voltando a diferença entre os elos, citada no item 2, pode-se estender ao fato de que os elos tenham níveis de eficiência operacional diferentes, trabalhando desta forma com níveis de serviços diferentes. Este fato pode trazer repercussões na flexibilidade quanto a volume da demanda e variedade do mix de produção.
4. O efeito chicote de fornecimento, produzindo informações distorcidas com relação a real necessidade do cliente.

A proposta de utilização da matriz insumo-produto vem no sentido de tornar visual os relacionamentos integrados, sendo assim se todos os elos tem conhecimento, sob a forma de um *software*, dos tempos e capacidades de respostas de cada elo a montante e a jusante do seu processo, logo existe uma possibilidade de que o nível de eficiência da resposta aos elos seja melhorada.

7.1 A Matriz Insumo-Produto

Wassily Leontief (1966) idealizou uma forma interessante de representar as relações de produção entre várias empresas, partindo da idéia que a função produção pode representada por seus insumos materiais e recursos humanos, foi idealizada uma forma matricial de colocar num mesmo processo o produto que deve ser produzido e todos os insumos que estão envolvidos na produção deste. Extrapolando a idéia de Leontief, a matriz gerada pode representar as interrelações de demanda e fornecimento. Com um pouco de esforço e criatividade esta matriz pode ser alimentada com dados mais interessantes, tais como, valores financeiros e tempos de ressuprimento, dando origem a matriz da cadeia de abastecimento.

Na matriz mostrada na Tabela 7.1, supõe-se que:

- Cada uma das empresas produz apenas um tipo de produto: produto 1, produto 2 e produto 3;
- As três empresas são interdependentes; elas compram insumos e vendem produtos para todas as outras;
- Não existe um controlador central; não existe governo;

- A cadeia está isolada do resto do mundo;
- Além dos insumos adquiridos das outras empresas, a produção de cada setor requer alguma força de trabalho;
- Não há necessidade de nenhum bem de capital;
- Todos os bens e serviços acabados (também chamados *bens e serviços finais* que não reentram no processo produtivo) são usados para consumo pessoal.

Essas hipóteses não são de fato realísticas; são apenas para mostrar o funcionamento básico da matriz insumo-produto.

Tabela 7.1: Matriz insumo-produto de uma cadeia de suprimentos.

Insumo de \ Produto para	Uso Intermediário				
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Uso Final	Produto Bruto
Empresa 1	80	160	0	160	400
Empresa 2	40	40	20	300	400
Empresa 3	0	40	10	50	100
Força de Trabalho	60	100	80	10	250

Os dados em qualquer linha mostram a distribuição do produto nas várias empresas e usos, enquanto os dados numa coluna indicam as fontes de insumos necessários à produção. Assim, por exemplo, uma leitura ao longo da primeira linha (Empresa 1), mostra que do produto bruto de 400 unidades do produto 1 produzidas, 80 unidades são usadas no processo de produção do produto 1, 160 unidades são vendidas ao consumidor final. De maneira similar, lendo-se a primeira coluna, vê-se que para se produzir 400 unidades do produto bruto, a Empresa 1 tem que consumir 80 unidades do seu próprio produto (o produto 1), comprar 40 unidades da Empresa 2, e contratar 60 unidades de trabalho.

Note-se que a Tabela 7.1 tem uma coluna que soma os produtos de cada empresa, mas não tem linha somando os insumos de cada setor. Como o fluxo de bens e serviços nesta tabela é de unidades físicas, e os números de cada linha são medidos na mesma unidade física, pode-se somá-los. Os números nas colunas, entretanto, representam várias unidades físicas diferentes, e não faz sentido somá-los.

É plausível considerar os consumidores como uma quarta “empresa”, ou “unidade produtiva”. A força de trabalho seria o seu produto e os diversos bens e serviços finais seriam insumos usados na “produção” de trabalho. Observe-se entretanto que consumir bens não é exatamente a mesma coisa que produzir trabalho (via um coeficiente técnico). De fato, os consumidores podem alterar os seus hábitos de gasto, os seus hábitos de consumo, sem alterar a sua habilidade para o trabalho. Noutras palavras, o consumo não está relacionado fisicamente à “quantidade de trabalho” como as outras relações insumo-produto (embora no agregado isso seja verdade, pois sem comer o homem não trabalha)

Distingue-se, portanto, na prática, o setor do consumidor (a “empresa” consumidores), das outras empresas produtivas. Considera-se o consumo final como uma variável mais autônoma, independentemente do suprimento da força de trabalho. É de fato uma fonte de incerteza, que tem o seu *locus*, pois, na demanda. Os consumidores podem mudar os seus hábitos sem provocar rupturas nas relações insumo-produto básicas.

7.2 A Matriz Insumo-Produto Técnica

Outra forma de apresentar os dados da tabela 7.1 é através da matriz insumo-produto técnica, trata-se da matriz dos coeficientes técnicos; da tecnologia. Para construí-la basta dividir os diversos insumos de cada empresa pelo produto bruto da mesma.

Tabela 7.2: Os coeficientes técnicos de insumo-produto.

Insumo de \ Produto para	Uso Intermediário		
	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3
Empresa 1	0.2	0.4	0
Empresa 2	0.1	0.1	0.2
Empresa 3	0	0.1	0.1
Força de Trabalho	0.15	0.25	0.8

7.3 A Análise Estrutural da Matriz Insumo-Produto de uma Cadeia de Suprimentos

As propriedades estruturais das tabelas de insumo-produto das cadeias de suprimento, assim como a da economia como um todo, estão relacionadas a muitos problemas dessas cadeias. Existem várias técnicas para essa análise, no caso da economia, que podem ser usadas para o estudo da interdependência entre as empresas numa *supply chain*. As análises concentram-se principalmente nas propriedades da matriz insumo-produto técnica.

A matriz insumo-produto técnica propicia uma visão da extensão da interdependência técnica entre as empresas. Ademais, comparando-se duas tabelas de períodos de tempo diferentes, pode-se verificar se a interdependência interempresarial tem sido intensificada ou não. Enfim, trata-se de estudar a estrutura produtiva da cadeia como um todo, mas entendendo as partes e as suas contribuições.

De uma maneira geral a posição de uma empresa numa tabela insumo-produto é arbitrariamente atribuída. Se se rearranjar as linhas e colunas, entretanto, poderá emergir algumas propriedades interessantes. Uma motivação inicial para se rearranjar a tabela foi a idéia de minimizar o esforço computacional, usando-se as técnicas de matrizes esparsas, em particular a triangularização.

Antes de se abordar essas técnicas, é interessante primeiro classificar as tabelas de insumo-produto de acordo com os padrões de dependência interindustrial que elas exibem. Nas figuras de a vários tipos de matrizes técnicas são apresentados.

- **Interdependência completa** — Todas as células são preenchidas com números não nulos. Cada indústria vende e compra diretamente de todas as outras indústrias. Um aumento na demanda final para o produto de qualquer indústria provocará uma série de reações e todas as indústrias (empresas) da cadeia de suprimentos será afetada (Figura 7.1).
- **Interdependência empresarial aleatória** — Algumas das células estão em branco. Uma empresa neste tipo de cadeia tem uma relação insumo-produto direta com algumas, mas não com todas as indústrias. Matrizes que parecem ser aleatórias podem, se rearranjadas sistematicamente, apresentar algumas propriedades interessantes. Intercambiando-se linhas e colunas, por exemplo, pode ser possível obter-se matrizes triangulares, como a mostrada na Figura 7.2.
- **Relação interempresarial hierárquica completa** — Num tal sistema, a empresa na linha de cima compra insumos de todas as outras indústrias, embora venda produtos apenas para o usuário final (Figura 7.3). Ela é identificada, por conseguinte, como uma indústria de produtos finais. Por outro lado, a indústria na última linha vende o seu produto a todas as outras indústrias tanto quanto aos usuários finais, e ao mesmo tempo não compra nenhum dos seus insumos das outras indústrias da cadeia considerada. Esta indústria pode ser chamada de básica, ou primária. Note-se que se as linhas e colunas forem reenumeradas, e a matriz rearranjada de acordo com o novo sistema de numeração, ela poderá parecer não triangular. Inversamente, descobrindo-se uma maneira de reenumerar uma dada matriz de tal maneira a torná-la triangular, o analista pode revelar uma ordem escondida na relação entre as indústrias. O resto das indústrias localizadas entre a primeira e a última linha na Figura 7.3 comprou apenas das indústrias abaixo e vendem apenas para as indústrias acima. Neste tipo de cadeia, uma mudança na demanda final para o produto de uma indústria afetará apenas esta indústria e as indústrias “abaixo” dela. As indústrias “acima” dela não são de nenhuma forma afetadas. Logo, uma mudança na demanda na demanda do produto da indústria da linha de cima afetará a cadeia como um todo, enquanto uma mudança na demanda para o produto da indústria da linha de baixo deixará o resto da cadeia de suprimentos intacta. Este fato reduz enormemente o esforço necessário para se avaliar o efeito de uma mudança na demanda final.

- **Bloco triangular** — Duas células acima da diagonal não são vazias e três células abaixo da diagonal são vazias (Figura 7.4). Dentro de cada bloco existe uma completa ou quase completa interdependência: cada indústria no bloco compra e vende para todas, ou a maior parte, das indústrias do bloco. Entre os blocos existe uma interdependência hierárquica: o bloco de cima compra do bloco de baixo, mas a recíproca não é verdadeira. Esta interdependência dos blocos pode servir de base para a agregação de indústrias. Além disso, um planejador (consultor?) pode achar necessário desenvolver todo um bloco de indústrias quando existe a necessidade de desenvolver uma indústria no bloco.

Se se combina as duas indústrias de cima e as duas indústrias de baixo para formar dois blocos de indústrias, tem-se o resultado mostrado na Figura 7.5, que é um bloco triangular.

- **Completa especialização** — Cada empresa é especializada na produção de apenas um produto (ou serviço) e requer insumo de apenas um tipo de produto. Cada indústria vende apenas para uma indústria e compra apenas de uma indústria. Se se mede a extensão da especialização de uma *supply chain* pelo número de vendedores e compradores que cada indústria tem, então este é o caso da completa especialização (Figura 7.6).

×	×	×	×
×	×	×	×
×	×	×	×
×	×	×	×

Figura 7.1: Interdependência completa.

	×	×	
×		×	
×	×		
		×	×

Figura 7.2: Padrão aleatório.

×			
×	×		
×	×	×	
×	×	×	×

Figura 7.3: Padrão hierárquico.

×	×		
×	×		
		×	×
×		×	×

Figura 7.4: Bloco triangular.

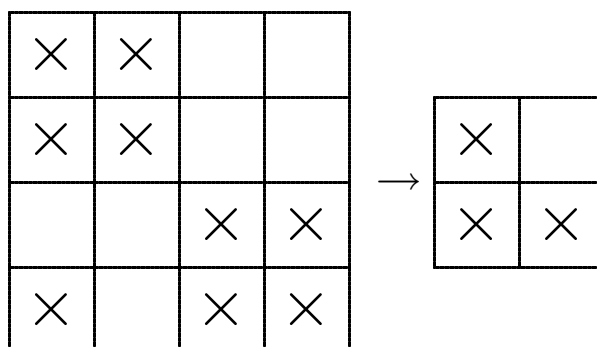


Figura 7.5: Transformação do bloco triangular.

	×		
		×	
			×
×			

Figura 7.6: Especialização completa.

7.4 Formulação Matemática da Matriz Insumo-Produto de uma Cadeia de Suprimentos

Como foi explicado na seção anterior, a matriz insumo-produto resume as demandas e fornecimentos de produtos ao longo de vários setores da economia. Desta forma é possível montar as equações de produção para cada produto e assim descrever a tecnologia de processo para aquela produção. Esta seção tem por objetivo descrever as equações construtivas da matriz insumo-produto e por extensão, a equação do seu ambiente de processo:

$$x_i = \sum x_{ij} + s_i \quad (7.4.1)$$

onde,

x_i representa a produção do setor i

x_{ij} representa as vendas do setor i para o setor j

s_i representa a quantidade de produto acabado do setor i

Ajustando as expressões:

$X = x_{ij}$ é a matriz de transição de fluxo intersetorial envolvendo produtos intermediários.

Para cada setor i , existe um vetor $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{ij}\}$

$\vec{s} = (s_i)$ é o vetor da quantidade de produto acabado.

$\vec{x} = (x_i)$ é o vetor de produção.

Tem-se, pois:

$$\vec{s} = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \vdots \\ s_n \end{bmatrix} \quad \text{e} \quad \vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Finalmente a expressão genérica será definida abaixo:

$$\vec{x} = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + \vec{s} \quad (7.4.2)$$

É importante ressaltar que a equação 7.4.2 requer que os insumos constituintes da confecção de qualquer produto, variem proporcionalmente ao volume da saída de produto acabado, ou seja, se o nível de solicitação de produto acabado mudar, todos os insumos daquela fórmula de produto devem ser alterados na mesma proporção.

7.4.1 Tabela Insumo-Produto Técnica

a_{ij} é o coeficiente técnico, indicando a quantidade de produtos i necessários para produzir uma unidade do produto j , sendo definido de acordo com a expressão abaixo:

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \Rightarrow x_{ij} = a_{ij}x_j \quad (7.4.3)$$

Desta forma, define-se $A = a_{ij}$, como a matrix técnica.

Usando-se a equação 7.4.3 na equação 7.4.1, obtém-se:

$$x_i = \sum_j a_{ij}x_j + s_i \quad (7.4.4)$$

Substituindo-se a expressão acima na equação 7.4.2, obtém-se:

$$\vec{x} = A\vec{x} + \vec{s} \quad \therefore \vec{s} = \vec{x} - A\vec{x} = I\vec{x} - A\vec{x} = (I - A)\vec{x} \quad (7.4.5)$$

onde I é a matriz identidade.

Finalizando, para cada setor i , as vendas líquidas serão iguais a $x_i - x_{ii}$ e quando

$$x_i - x_{ii} > 0 \therefore x_i - a_{ii}x_{ii} > 0 \Rightarrow a_{ii} < 1.$$

Entretanto um setor pode produzir parte da sua necessidade líquida somente se a_{ii} for menor do que um. Deve ser observado que uma empresa pode ter a necessidade total de insumos atendida internamente e o excedente poderá ser vendido como insumo para outras empresas, neste caso:

$$x_{ii} > x_i - x_{ii} \Rightarrow 2x_{ii} > x_i \Rightarrow 2a_{ii}x_i > x_i \Rightarrow a_{ii} > \frac{1}{2}$$

7.5 A Triangularização

Dada uma matriz de relação aleatória, tenta-se rearranjar as linhas e colunas de uma maneira sistemática para se obter uma matriz triangular, ou bloco-triangular. Suponha-se

que se começa com a matriz A :

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \end{bmatrix}$$

Cada a_{ij} em A representa um elemento não nulo da matriz. Tentar-se-á rearranjar as linhas e colunas de tal forma que os elementos não nulos, se possível, fiquem localizados numa posição abaixo da diagonal principal. Como a primeira indústria vende para todas as outras indústrias, move-se-a primeiro para baixo, para a última linha. A matriz resultante da troca das linhas 1 e 2 de A é:

$$A^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & a_{42} & 0 & a_{44} \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \end{bmatrix}$$

Agora, a primeira linha indica que a distribuição do produto da indústria 4, mas a primeira coluna ainda mostra a estrutura de insumo da indústria 1. Para se atribuir a mesma linha e coluna a uma dada indústria, a operação feitas na linha deve ser acompanhada por uma operação similar na coluna. Intercambiando-se as colunas 1 e 4, obtém-se:

$$A^{(2)} = \begin{bmatrix} a_{44} & a_{42} & 0 & 0 \\ 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{34} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ a_{14} & a_{12} & a_{13} & a_{11} \end{bmatrix}$$

Agora, troque-se as linhas 2 e 1:

$$A^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 & a_{22} & 0 & 0 \\ a_{44} & a_{42} & 0 & 0 \\ a_{34} & a_{32} & a_{33} & 0 \\ a_{14} & a_{12} & a_{13} & a_{11} \end{bmatrix}$$

Troque-se também as colunas 2 e 1. Ter-se-á então:

$$A^{(3)} = \begin{bmatrix} a_{22} & 0 & 0 & 0 \\ a_{42} & a_{44} & 0 & 0 \\ a_{32} & a_{34} & a_{33} & 0 \\ a_{12} & a_{14} & a_{13} & a_{11} \end{bmatrix}$$

A triangularização está agora completa e tem-se um sistema hierárquico perfeito. A última coisa a ser feita é mudar o rótulo atribuído a cada indústria.

Observe-se que nem todas as matrizes podem ser triangularizadas. O que se faz, na prática (em economia), é desprezar os a_{ij} 's que são muito pequenos (são considerados como sendo 0 (zero), ou agregando-se várias indústrias numa só.

É essencial que se considere todas as relações diretas e indiretas de uma indústria com as outras, numa cadeia de suprimento, quando se tenta decidir sobre a importância que ela tem. Yan e Ames (1965) sugeriram uma medida para indicar o grau de relacionalidade (ambos, direto e indireto) de uma indústria.

7.6 A Demanda, a Oferta, a Realimentação (*Feedback*) e a Dinâmica de uma Cadeia de Suprimentos

Adapta-se aqui a idéia exposta em Vogt (1975) para estudos em economia.

Duas das variáveis econômicas mais importantes são a oferta, \vec{s} , e a demanda, \vec{d} . Tem-se como conceito básico que se a demanda crescer, então a oferta crescerá (ou deveria crescer) para alcançá-la. E se a demanda diminuir, então a oferta diminuirá, até igualar-se a ela. Ou seja, a oferta fica rastreando a demanda. Há portanto um fenômeno de realimentação (*feedback*), que já foi mencionado anteriormente nos capítulos dois e seis.

O ponto de equilíbrio é definido por:

$$\vec{s}(t) = \vec{d}(t).$$

Como, em geral, a demanda está sempre variando, tem-se sempre um equilíbrio dinâmico. O sistema está, em geral, pois, sempre em movimento. É a dinâmica deste movimento que se quer estudar e controlar. É a essência da gestão de uma cadeia de suprimentos.

A variável que causa o aumento ou a diminuição na produção é a diferença entre a demanda e a oferta, isto é, o “excesso de demanda” ou o “excesso de oferta”. Ela é o resultado do mecanismo de realimentação, como mostrado na Figura 7.7.

O propósito da produção é fornecer produtos a serem consumidos. Parte do consumo é interno, quer dizer, uma fração do produto i é usado para fabricar o produto j . Uma

parte desta fração de “consumo” é usada para fornecer estoque (especialmente para a expansão da produção). A outra parte da produção é para consumo externo. O ganho K da realimentação deve ser escolhido de tal forma que no ponto de equilíbrio, que deve ser estável, tenha-se que a oferta seja igual à demanda.

Trabalhar-se-á aqui com variáveis contínuas. A dinâmica do processo será então dada por um conjunto de equações. O mesmo raciocínio que levou à equação 7.4.5 permite escrever:

$$\vec{x}(t) = A\vec{x}(t) + B\frac{d\vec{x}(t)}{dt} + \vec{s}(t) \quad (7.6.1)$$

onde

$\vec{x}(t)$ é a produção total do sistema;

$A\vec{x}(t)$ é a parte da produção total que é usada no processo de produção;

$B\frac{d\vec{x}(t)}{dt}$ é a parte da produção total que é colocada em estoque;

$\vec{s}(t)$ é a parte da produção disponível para satisfazer à demanda externa (é a oferta).

O erro, isto é, a diferença entre a demanda e a oferta, é dado por:

$$\vec{e}(t) = \vec{d}(t) - \vec{s}(t) \quad (7.6.2)$$

Usar-se-á aqui uma realimentação proporcional, isto é, um controle proporcional. Poder-se-ia, é claro, usar um controlador PID (Proporcional, Integral, Diferencial), mas usa-se aqui apenas o proporcional em prol da clareza da exposição. A força de controle, u , será então proporcional ao erro, e será dada por:

$$\vec{u}(t) = K\vec{e}(t) = K \left[\vec{d}(t) - \vec{s}(t) \right] \quad (7.6.3)$$

onde K é a matriz do controle proporcional. Note-se que K pode ser diagonal ou não. Não há nenhuma restrição nesse sentido.

Se o controle fosse PID, ter-se-ia:

$$\vec{u}(t) = K_1 \left[\vec{d}(t) - \vec{s}(t) \right] + K_2 \int \left[\vec{d}(t) - \vec{s}(t) \right] dt + K_3 \frac{d}{dt} \left[\vec{d}(t) - \vec{s}(t) \right],$$

onde K_1 , K_2 e K_3 seriam as matrizes do controlador (numa linguagem de sistemas de controle automático). O ganho K_1 dá rapidez de resposta e menor erro de regime permanente quanto maior for o seu valor; o controle integral elimina o erro de regime permanente e o controle derivada amortece as variações bruscas do erro. Na sequência usa-se apenas o controle proporcional.

A variação temporal da produção será dada então por:

$$\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = \vec{u}(t) \quad (7.6.4)$$

Eliminado-se da notação, para não sobrecarregá-la, a dependência explícita do tempo, e a notação de vetor ($\vec{\cdot}$), tem-se então:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = u \\ x = Ax + B\frac{dx}{dt} + s \\ u = K(d - s) \end{cases}$$

A matriz K deve ser escolhida de tal forma que no equilíbrio tenha-se:

- a procura seja igual à oferta ($s_e = d_e$);
- obtenha-se o modelo estático de Leontief, ou seja,

$$s_e = (I - A)x_e.$$

Para ilustrar funcionamento do modelo dinâmico definido no sistema de equações acima, foi construído o diagrama de bloco da figura 7.7.

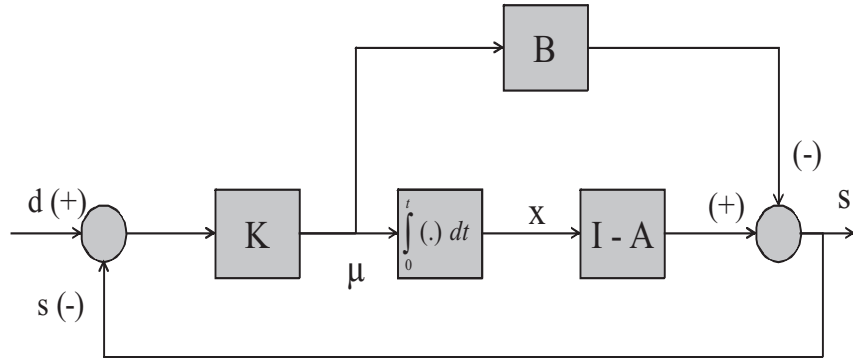


Figura 7.7: Diagrama de Blocos do Modelo Dinâmico de supply Chain

Vai-se agora manipular algebricamente estas equações de forma a se obter a equação para $\frac{dx}{dt}$ e para s , em função de x e de d . Ter-se-á:

$$\begin{aligned} s &= (I - A)x - Bu \\ &= (I - A)x - BK(d - s) \\ (I - BK)s &= (I - A)x - BKd \\ \therefore s &= (I - BK)^{-1}(I - A)x - (I - BK)^{-1}BKd \end{aligned}$$

A taxa de variação da produção no tempo será:

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= K(d - s) \\
 &= K [d - (I - BK)^{-1}(I - A)x + (I - BK)^{-1}BKd] \\
 &= -K(I - BK)^{-1}(I - A)x + K [I + (I - BK)^{-1}BK] d \\
 &= -K(I - BK)^{-1}(I - A)x + K(I - BK)^{-1}d
 \end{aligned}$$

pois

$$[I + (I - BK)^{-1}BK] = (I - BK)^{-1}.$$

O sistema em malha fechada (*closed loop*) será então descrito por:

$$\frac{dx}{dt} = -K(I - BK)^{-1}(I - A)x + K(I - BK)^{-1}d \quad (7.6.5)$$

$$s = (I - BK)^{-1}(I - A)x - (I - BK)^{-1}BKd \quad (7.6.6)$$

No ponto de equilíbrio, isto é, quando $\frac{dx}{dt} = 0$, ter-se-á:

$$u = K(d - s) = 0 \quad \therefore \quad d = s,$$

como deve ser. De fato, tem-se:

$$\frac{dx}{dt} = -K(I - BK)^{-1}(I - A)x + K(I - BK)^{-1}d = 0,$$

$$\therefore -(I - BK)^{-1}(I - A)x + (I - BK)^{-1}d = 0$$

$$\therefore (I - BK)^{-1}(I - A)x = (I - BK)^{-1}d.$$

Mas, como:

$$[I + (I - BK)^{-1}BK] = (I - BK)^{-1} \Rightarrow (I - BK)^{-1}BK = (I - BK)^{-1} - I,$$

decorre que, no ponto de equilíbrio:

$$\begin{aligned}
 s &= (I - BK)^{-1}(I - A)x - (I - BK)^{-1}BKd \\
 &= (I - BK)^{-1}d - (I - BK)^{-1}BKd \\
 &= (I - BK)^{-1}d - [(I - BK)^{-1} - I]d \\
 &= [(I - BK)^{-1} - (I - BK)^{-1} + I]d \\
 &= Id \\
 &= d.
 \end{aligned}$$

como deve ser, sem nenhuma restrição sobre as matrizes do modelo.

As restrições nas matrizes do modelo devem ser introduzidas para se garantir a estabilidade. Note-se pela equação de malha fechada que é a demanda que “controla” o sistema. Para garantir estabilidade, a parte real dos auto valores da matriz

$$-K(I - BK)^{-1}(I - A)$$

devem se negativas. Ou seja, as raízes do polinômio:

$$\text{Det} [\lambda I + K(I - BK)^{-1}(I - A)] = 0, \quad (7.6.7)$$

onde λ é o vetor de auto-valores, devem ter partes reais negativas. Deve-se evitar raízes complexas, pois estas significam oscilações nas quantidades produzidas.

O modelo permite pois uma grande flexibilidade na escolha das matrizes K e B . A matriz A é tipicamente dada; ela é, por assim dizer, “física”, “estrutural”. Escolhendo-se K e B pode-se alterar substancialmente a dinâmica de uma cadeia produtiva, levando-a a uma trajetória que otimize um funcional objetivo pré-estabelecido pelos gestores da cadeia.

Observe-se que quando o aumento do estoque for desprezível, pode-se fazer $B = 0$. Neste caso o modelo torna-se:

$$\begin{aligned}
 \frac{dx}{dt} &= -K(I - A)x + Kd \\
 s &= (I - A)x
 \end{aligned}$$

É bom lembrar que a matriz $(I - A)$ deve ser sempre viável, como já mencionado.

7.6.1 O Uso do Modelo

O uso do modelo da cadeia de suprimento, para a sua estruturação e controle, requer a determinação da matriz A (estrutura “física” já existente), a escolha das matrizes K e B , uma previsão da série histórica da demanda, e a solução do sistema de equações diferenciais lineares:

$$\frac{dx}{dt} = -K(I - BK)^{-1}(I - A)x + K(I - BK)^{-1}d \quad (7.6.8)$$

$$s = (I - BK)^{-1}(I - A)x - (I - BK)^{-1}BKd \quad (7.6.9)$$

Fazendo-se:

$$\mathcal{A} = -K(I - BK)^{-1}(I - A)$$

$$\mathcal{B} = K(I - BK)^{-1}$$

$$\mathcal{C} = (I - BK)^{-1}(I - A)$$

$$\mathcal{D} = -(I - BK)^{-1}BK$$

o sistema dinâmico linear é então descrito por:

$$\frac{dx}{dt} = \mathcal{A}x + \mathcal{B}d$$

$$s = \mathcal{C}x + \mathcal{D}d$$

onde:

x é a variável de estado;

d é a força de controle (a entrada);

s é a saída do sistema.

A “cadeia produtiva” mais simples é a cadeia unitária. Neste caso tem-se apenas um produto: x , que agora é um escalar. O mesmo acontece para d e para s . Os parâmetros serão também escalares, de forma que o sistema será:

$$\frac{dx}{dt} = -\alpha x + \beta d \quad (7.6.10)$$

$$s = \gamma x + \delta d \quad (7.6.11)$$

Se a produção deste único produto, x , no instante inicial é $x(0)$, a produção num instante t qualquer à frente será:

$$x(t) = e^{-\alpha t}x(0) + \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)}\beta d(\tau)d\tau$$

Se a demanda $d(t)$ fosse constante, diga-se,

$$d(t) = d,$$

a quantidade produzida seria:

$$x(t) = e^{-\alpha t}x(0) + \beta d \int_0^t e^{-\alpha(t-\tau)} d\tau = \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha},$$

e portanto, quando $t \rightarrow \infty$, ter-se-ia:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} x(t) = \frac{\beta d}{\alpha},$$

que é de fato o ponto de equilíbrio (quando $\frac{dx}{dt} = 0$).

Acontece que, em geral, a demanda $d(t)$ é um processo estocástico, tipicamente gaussiano, e portanto a expressão da solução tem que ser resolvida numericamente. Não há, nesse caso, uma expressão analítica para $d(t)$ que possa ser integrada. Uma vez obtida a série para $x(t)$, a obtenção de s é imediata (por substituição de x e d).

No caso de dois ou mais produtos, qualquer que seja a estrutura da cadeia produtiva, a solução tem a mesma “fisionomia”:

$$\vec{x}(t) = e^{\mathcal{A}t} \vec{x}(0) + \int_0^t e^{\mathcal{A}(t-\tau)} \beta \vec{d}(\tau) d\tau,$$

sendo que agora $e^{\mathcal{A}t}$ é uma matriz. Note-se que o número de coordenadas do vetor x é o mesmo do vetor d e do vetor s ; são os n produtos. Portanto as matrizes \mathcal{A} , \mathcal{B} , \mathcal{C} e \mathcal{D} são todas matrizes quadradas $n \times n$.

Observe-se que, no “mundo real”, as demandas pelos diversos produtos não variam na mesma proporção entre si. Assim, por exemplo, d_1 pode crescer e d_2 decrescer. Logo, se as matrizes K e B forem feitas diagonais (escolhidas diagonais), estar-se-ia “amarrado” à estrutura “física” da cadeia de suprimentos, com muito pouca possibilidade de otimização da cadeia como um todo. Tanto K quanto B devem ser feitas, pois, plenas, isto é, todos os seus elementos devem ser não nulos, para que se possa acomodar todas as possíveis correlações entre as demandas pelos diversos produtos, sejam estas positivas ou negativas, quaisquer que sejam as suas variâncias. Isto significa que tanto a política (programação) da produção (K) quanto o controle de estoque (B) devem ser estabelecidas pela cadeia produtiva como um todo, em função da demanda vetorial.

A fórmula para o cálculo numérico da matriz $e^{\mathcal{A}t}$ é disponível em pacotes de software. Pode-se usar a aproximação por série de Taylor para a simulação. A série da demanda vetorial será gerada no programa.

7.6.2 A Introdução da Incerteza

O problema da incerteza foi tratado durante todo o trabalho de maneira central para todos os tópicos. Ele está introduzido no modelo através de dois mecanismos:

- No cálculo da demanda, onde a incerteza é inserida através da identificação das distribuições de probabilidade e o cálculo do intervalo de confiança, considerando que as probabilidades dos eventos possam ser calculadas. Independente da facilidade ou dificuldade de cálculo da previsão da demanda, esta representa O *locus* central da análise da incerteza, pois ela é parte do input do modelo dinâmico desenvolvido neste trabalho.

O modelo proposto aqui pode incorporar essa incerteza considerando-se a demanda $\vec{d}(t)$ por todos os produtos da cadeia com um processo estocásticos (gaussianos, por exemplo). Como o sistema é linear, se o funcional objetivo for quadrático (minimizar o quadrado da diferença entre demanda e oferta, por exemplo), pode-se resolver o problema de controle ótimo resultante por técnicas clássicas de controle estocástico. Ter-se-á um problema do tipo LQG (Linear, Quadrático e Gaussiano).

- Outro ponto de consideração da incerteza está na equação 7.6.4, a qual depende da demanda \mathbf{d} , voltando assim ao tópico anterior sobre as considerações da incerteza com relação a demanda.

7.7 O Cálculo Numérico da Matriz de Transição de Estado de Um Sistema Dinâmico Linear

$$\phi(t) = e^{Ft} \approx \sum_{k=0}^N \frac{(Ft)^k}{k!}.$$

onde F é uma matriz quadrada $n \times n$.

$$e^{FT} \approx I + FT + \frac{(FT)^2}{2!} + \frac{(FT)^3}{3!} + \dots + \frac{(FT)^{IPROX}}{IPROX!}.$$

Para a grande maioria dos sistemas considera-se entre 15 e 20 termos no desenvolvimento da série.

$$\exp(F) = e^F = I + \frac{F}{1!} + \frac{F^2}{2!} + \frac{F^3}{3!} + \dots + \frac{F^k}{k!} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{F^k}{k!}.$$

7.7.1 Discretização do Modelo

Considere-se o sistema dinâmico linear multidimensional:

$$\dot{x} = \mathcal{A}x + \mathcal{B}u$$

Quer-se discretizá-lo, para facilitar cálculos e simulações, e representá-lo pela equação:

$$x((k+1)T) = G(T)x(kT) + H(T)u(kT)$$

As matrizes G e H dependem do período de amostragem T . Uma vez que este período é fixado, G e H são matrizes constantes.

A solução no caso contínuo é dada por:

$$x(t) = e^{\mathcal{A}t}x(0) + e^{\mathcal{A}t} \int_0^t e^{-\mathcal{A}\tau} \mathcal{B}u(\tau) d\tau$$

Supõe-se que todos os componentes de $u(t)$ são constantes no intervalo entre quaisquer dois instantes consecutivos de amostragem, ou seja,

$$u(t) = u(kT)$$

para o k -ésimo período de amostragem. Como

$$x((k+1)T) = e^{\mathcal{A}(k+1)T}x(0) + e^{\mathcal{A}(k+1)T} \int_0^{(k+1)T} e^{-\mathcal{A}\tau} \mathcal{B}u(\tau) d\tau$$

e

$$x(kT) = e^{\mathcal{A}kT}x(0) + e^{\mathcal{A}kT} \int_0^{kT} e^{-\mathcal{A}\tau} \mathcal{B}u(\tau) d\tau$$

multiplicando-se esta última expressão por $e^{\mathcal{A}T}$ e subtraindo da expressão anterior (a penúltima) vem:

$$\begin{aligned} x((k+1)T) &= e^{\mathcal{A}T}x(kT) + e^{\mathcal{A}(k+1)T} \int_{kT}^{(k+1)T} e^{-\mathcal{A}\tau} \mathcal{B}u(\tau) d\tau \\ &= e^{\mathcal{A}T}x(kT) + e^{\mathcal{A}T} \int_0^T e^{-\mathcal{A}t} \mathcal{B}u(kT) dt = \\ &= e^{\mathcal{A}T}x(kT) + \int_0^T e^{-\mathcal{A}\lambda} \mathcal{B}u(kT) d\lambda \quad (*) \end{aligned}$$

onde $\lambda = T - t$. Se se define

$$\begin{cases} G(T) = e^{AT} \\ H(T) = \left(\int_0^T e^{At} dt \right) \mathcal{B} \end{cases}$$

então a equação (*) torna-se

$$x((k+1)T) = G(T)x(kT) + H(T)u(kT)$$

7.7.2 Exemplo de Discretização

Considere-se o sistema

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

Note-se que neste exemplo a força de controle, u , é escalar. As transformações para a obtenção das matrizes G e H serão:

$$G(T) = e^{AT} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2}(1 - e^{-2T}) \\ 0 & e^{-2T} \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} H(T) &= \left(\int_0^T e^{At} dt \right) \mathcal{B} \\ &= \left\{ \int_0^T \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2}(1 - e^{-2t}) \\ 0 & e^{-2t} \end{bmatrix} dt \right\} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left(T + \frac{e^{-2T}-1}{2} \right) \\ \frac{1}{2}(1 - e^{-2T}) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Portanto

$$\begin{bmatrix} x_1((k+1)T) \\ x_2((k+1)T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{2}(1 - e^{-2T}) \\ 0 & e^{-2T} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(kT) \\ x_2(kT) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left(T + \frac{e^{-2T}-1}{2} \right) \\ \frac{1}{2}(1 - e^{-2T}) \end{bmatrix} u(kT)$$

Se, por exemplo, o período de amostragem for de 1 segundo, ou seja, $T = 1$, então a equação de estado de tempo discreto será:

$$\begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0,432 \\ 0 & 0,135 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0,284 \\ 0,432 \end{bmatrix} u(k)$$

Esta última expressão é diretamente implementável, por exemplo, numa planilha.

Basta dar uma condição inicial, isto é, $\begin{bmatrix} x_1(0) \\ x_2(0) \end{bmatrix}$ e considerar uma série dada de entradas $u(0), u(1), u(2)$, etc. No caso das cadeias de suprimento, esta série é a demanda prevista para o período seguinte.

7.8 Relações entre Variáveis em Unidades Físicas e Unidades Monetárias

Inicialmente algumas definições são necessárias para desenvolver as relações:

Definir-se-á p_i como o preço de um produto ou serviço produzido pelo sector i e p_L como os encargos salariais.

y_{ij} são as vendas em reais do sector i para sector j , sendo expressa da seguinte forma:

$$y_{ij} = p_i x_{ij}$$

A Produção em reais do sector j é expressa por y_j , podendo ser calculado conforme a expressão abaixo:

$$y_j = p_j x_j, \text{ sendo assim, } y_i = p_i x_i \quad (*)$$

L_i é a quantidade de mão-de-obra empregada pelo sector i e l_i , a quantidade de mão-de-obra requerida para produzir uma unidade para o sector i .

Chamar-se-á W_i dos salários total pago pelo sector i e w_i será salário para produzir uma unidade de produto no sector i , obtendo-se a expressão abaixo:

$$W_j = p_L L_j \text{ e } W_j = w_j y_j$$

Re-arrumando os termos

$$w_j = \frac{p_L L_j}{y_j} \quad (**)$$

Substituindo (*) em (**), conclui-se que

$$w_j = \frac{p_L L_j}{p_j x_j} = \frac{p_L}{p_j} l_j$$

De maneira similar ao ocorrido na matriz insumo-produto técnica, é possível descrever a taxa de conversão de valores monetários da produção do sector i para o sector j . Este coeficiente será chamado b_{ij} , representando quantos reais são necessários do sector i para produzir um real no sector j . A expressão abaixo demonstra como calcula-se este coeficiente:

$$b_{ij} = \frac{y_{ij}}{y_j} = \frac{p_i x_{ij}}{p_j x_j} \quad (***)$$

Substituindo a equação 7.4.3 em (***), obtém-se:

$$b_{ij} = \frac{p_i}{p_j} a_{ij}$$

Numa matriz insumo-produto empírica, o custo total de entrada não é necessariamente igual as receitas de cada setor. Na prática, a soma dos valores das colunas é ajustado com a soma das linhas através da adição de uma linha chamado "valor agregado, de maneira esquemática vemos abaixo:

Finalmente, representar-se-á a equação 7.4.1 em termos monetários, logo num ambiente com i unidades produtiva, vendendo para j empresas, cabe uma representação matricial das grandezas descritas acima, ou seja:

$B = (b_{ij})$, representa a matriz de fatores de conversão monetárias do setor i para o setor j .

$Y = (y_i)$, representa a matriz de produção de produtos i .

$P = (p_i)$, representa a matriz dos preços dos produtos do setor i .

$D = (D_i)$, representa a matriz de produtos armazenados do setor i .

$$y_i = \sum y_{ij} + p_i D_i = \sum b_{ij} y_j + p_i D_i$$

$$Y = BY + P^* D \Rightarrow P^* D = Y - BY \Rightarrow P^* D = IY - BY \quad (7.8.1)$$

$$P^* D = (I - B)Y \quad (7.8.2)$$

onde,

$$p^* = \begin{bmatrix} p_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p_i \end{bmatrix}$$

7.9 Otimização da Cadeia de Suprimentos para relações monetárias na Matriz Insumo-Produto

Até este ponto a matriz insumo-produto desempenhou um papel importante na construção de um modelo de cadeias de abastecimento, pois analisando mais a fundo a representação das equações 7.4, 7.5 e 7.6 vê-se que as relações de demanda e abastecimento podem ser facilmente alocadas na matriz insumo-produto técnica e a partir daí utilizar

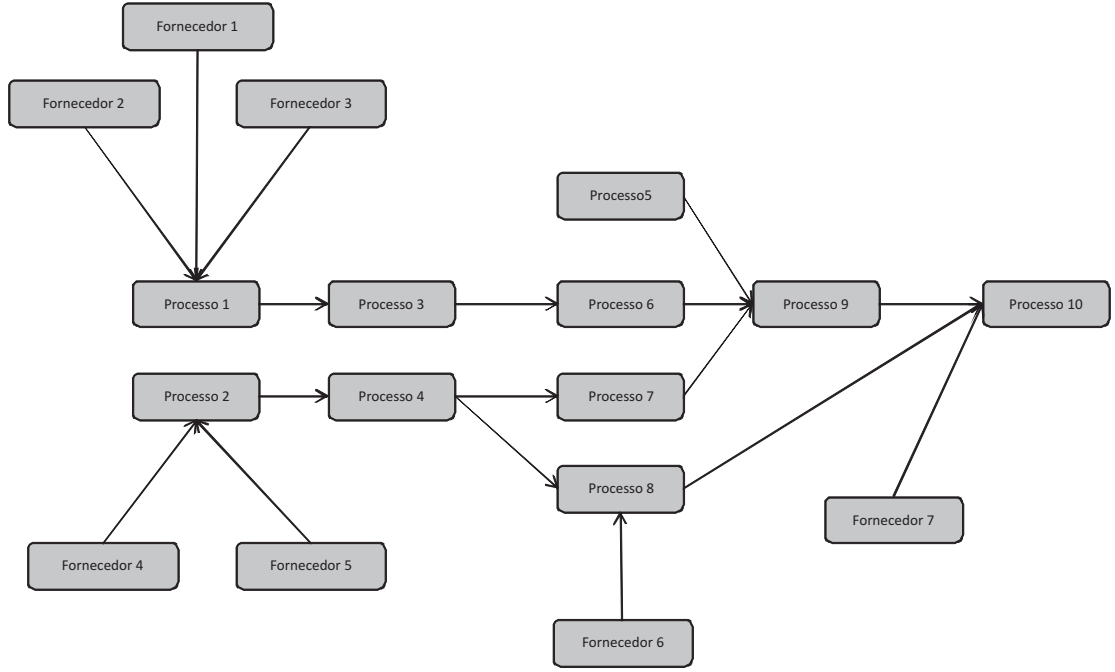


Figura 7.8: Cadeia de Abastecimento

estas equações de transformação como restrições para um modelo de otimização dinâmica, tal como mostrado para a análise dos gargalos.

Analisando a figura 7.8 e retomando a equação 6.1, na qual descreve-se o modelo de otimização dinâmica, é possível identificar alguns componentes de um sistema produtivo, os quais serão importantes na construção do modelo dinâmico:

- $S_{t-1}(\cdot)$ representando o estoque inicial de cada insumo a ser utilizado num determinado sistema produtivo.
- $\phi(S_{t-1}(\cdot), x_t)$ representa a função de transformação de produtos. Esta função pode ser representada pela matriz insumo-produto técnica, descrita pela equação 7.4.

Neste ponto é necessário frisar que as demandas dos clientes não são constantes, logo não é possível exprimir a equação 7.4 como uma expressão estática. Sabendo-se que a demanda é uma função do desejo do cliente e do tempo, a mudança na intensidade da demanda será introduzida alterando-se a matriz de $IX = \{x_i\}$, por uma matriz $IX^t = \{\frac{\partial x_i}{\partial t}\}$

- $S_t(\cdot)$ representando o estoque final do processo produtivo, levando-se em conta o processo produtivo em si, as condições iniciais e as demandas dos clientes. Utilizando a nomenclatura da matriz insumo-produto, esta variável será representada pela matriz D.

- $f(S_{t-1}(\cdot), x_t)$ representa o retorno do investimento de cada processo, dado uma condição de estoque inicial (S_0) e as demandas solicitadas pelos clientes (x_t). Esta função assume o papel de restrição no modelo de otimização, pode ser representada pelo lucro na conversão dos produtos entre os setores i e j , podendo ser representada pela equação 7.5

Sendo desta forma posto, o problema de otimização dinâmica para a matriz de insumo-produto será:

$$\text{Max } Y = P^*D(I - B)^{-1}$$

Sujeito a

$$\begin{cases} S_{ij}(0) = \text{Estoque Inicial do Elo Produtivo} \\ (I - A)X^t = \text{a capacidade produtiva} \\ X^t \text{ pode assumir qualquer valor positivo} \end{cases}$$

Tem-se que:

$$\vec{s} = (I - A)\vec{x}.$$

É importante que em qualquer solução \vec{x} , todos os x_i 's sejam não negativos, por razões óbvias. Uma matriz $(I - A)$ para a qual $\vec{x} \geq 0$ implica em $(I - A)\vec{x} \geq 0$, é dita ser viável. Logo, $(I - A)^{-1}$, se existir, será também viável, e ter-se-á então:

$$\vec{x} = (I - A)^{-1}\vec{s},$$

onde $\vec{s} \geq 0$ garante que \vec{x} terá todas as coordenadas não negativas, isto é, $\vec{x} \geq 0$. É esta equação que determina a mínima capacidade de produção requerida para cada setor dada uma requerida oferta para o ambiente externo \vec{s} .

No capítulo seguinte o modelo apresentado nas equações 7.16 e 7.17 será desenvolvido numa planilha eletrônica para simular o comportamento das matrizes K e B, no tocante a controlar a dinâmica do processo de abastecimento de uma cadeia produtiva.

8 Simulação do Modelo

O homem é mortal pelos seus temores e imortal pelos seus desejos.

Pitágoras

Neste capítulo far-se-á uma demonstração do modelo criado para simular o funcionamento dinâmico da cadeia de suprimentos modelada através da matriz insumo produto. O cerne desta apresentação é mostrar que apesar das limitações computacionais, é possível um planejamento da cadeia de suprimentos, utilizando uma ferramenta comum e atualmente disponível em qualquer computador.

O *software* utilizado para a simulação foi o EXCEL 2007 e o modelo tratava a relação de demanda e fornecimento entre duas empresas, envolvendo dois produtos. Todo modelo assume que os insumos não tem custo, o que facilita o ajuste das matrizes de estoque e controle. Este fato, nesta etapa do modelo, é irrelevante, visto que o capítulo 7 traz a solução do sistema de equações no caso de incluir-se os valores monetários dos insumos, esta simplificação foi feita para garantir que o ajuste das matrizes fosse feito apenas na matriz **K**. Numa visão mais operacional, se os valores forem incluídos, será introduzida uma matriz de preços e o modelo de otimização deverá levar em conta a função de retorno financeiro.

8.1 Entrada de Dados

Toda entrada de dados se dará através da planilha **usuário** inserindo os dados referentes a estrutura do problema de suprimentos, sendo nomeados por:

- Matriz **A** — Representa a matriz técnica de insumo-produto. Ela descreve a tecnologia de produção. Conforme visto no capítulo 7, as linhas representam a quantidade de um produto utilizada para fabricar o próprio produto ou outro produto da cadeia e as colunas representam a contribuição de cada empresa na confecção de vários produtos. Esta matriz pode assumir quaisquer valores, pois depende apenas da tecnologia do processo de fabricação. A simulação desenvolvida utilizou uma matriz de dimensão 2x2, porém o modelo pode ser estendido para qualquer tamanho de matriz, os ajustes se fazem necessários, apenas, na ferramenta computacional utilizada, pois quanto maior a matriz, maior a necessidade de processamento computacional.
- Matriz **B** — Representa a política de estocagem que é desenvolvida para os vários produtos e insumos confeccionados numa cadeia de abastecimento. O ponto de funcionamento ideal para esta matriz é zero em todos os seus elementos, porém por

questões operacionais são definidos níveis de estocagem para absorver eventuais picos de demanda ou falta de insumos.

- **Matriz \mathbf{K}** — Esta matriz define a força de controle sobre a produção da empresa no sentido de atender a demanda solicitada pelos clientes. Eventualmente esta matriz pode ter termos positivos e negativos, pois é através da dinâmica desta matriz que toda cadeia se move, ou seja, quando se deseja aumentar a velocidade de reposta de qualquer insumo aumentam-se os valores nas linhas, por outro lado o que se deseja é aumentar a resposta de produtos, os valores sobem nas colunas. O ajuste desta matriz é primordial para o sucesso de uma operação produtiva, sendo assim, é preciso ter pessoas experientes controlando o seu funcionamento.
- **Valor do período de análise \mathbf{T}** — Este valor é expresso como uma fração padronizada do período escolhido, ou seja, pode-se representa um período de uma semana por $T=1$ ou fazer menção a 3 dias da semana, ter-se-ia $T=0,5$.
- **Rendimento** — Esta grandeza representa o funcional objetivo que se deseja avaliar no modelo, sendo utilizado, no caso corrente, a soma quadrática dos desvio. O usuário que fizer a simulação deve observar o resultado deste erro para avaliar a necessidade de ajustes nas matrizes \mathbf{K} e \mathbf{B} .

A tela de entrada de dados é mostrada na figura 8.1 e percebe-se que existem dois gráficos, onde são plotados os dados da produção, a demanda e a quantidade entregue ao cliente.

A tônica fortemente trabalhada nesta planilha é a facilidade na entrada de dados e a compreensão imediata do processo dinâmico da cadeia de suprimento, fato este que pode ser verificado através da pressão sucessiva na tecla **F9**, provocando uma mudança nos dados e por extensão nos gráficos apresentados.

8.2 Condição de Estabilidade

O modelo descrito no capítulo anterior conduz a análise da matriz insumo-produto na direção de uma modelagem de um sistema de controle ótimo. Logo para que as equações diferenciais 7.10, 7.11, 7.12 descrevam um sistema estável, é preciso atender a condição da equação 7.15, Foi colocada na planilha **Usuário** os valores das raízes do polinômio da equação em questão. São mostradas duas raízes, pois uma equação de 2º grau é obtida do cálculo do determinante.

Os valores das raízes não devem ser mexidos, pois servem apenas para definir se a escolha das matrizes \mathbf{K} e \mathbf{B} foi feita de maneira correta.

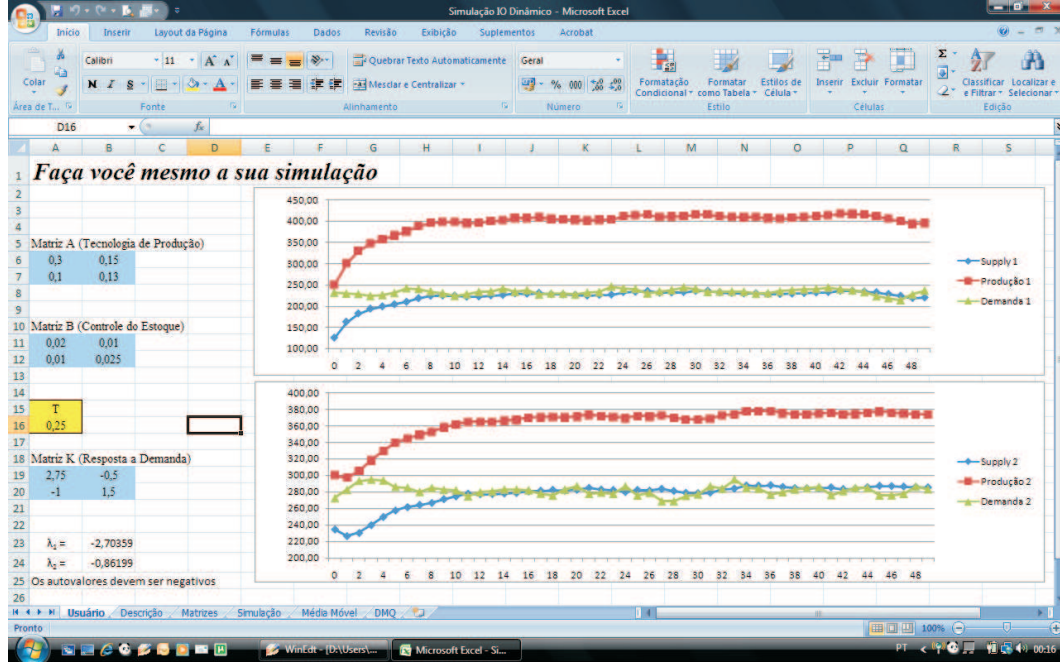


Figura 8.1: Planilha Usuário — Modelo Matriz IO Dinâmica

8.3 Geração Demanda

O ponto de partida do modelo apresentado é a definição da condição inicial do vetor $\vec{x}(t) = \{\vec{x}_0\}$ e os valores da demanda. Foi utilizado um gerador de números aleatório para fazer uma estimativa da demanda (a série gerada tinha comportamento gaussiano), sendo em seguida calculada uma segunda estimativa através de média móvel dos itens gerados. O Motivo para o cálculo de uma segunda estimativa tem a ver com a necessidade de promover uma autocorrelação nas duas séries.

Com os dados dos vetores $\vec{x}(t)$ e $\vec{d}(t)$, os valores são substituídos na equação transformada $\vec{x}((k+1)T) = G(T)\vec{x}(kT) + H(T)\vec{u}(kT)$ que está sendo utilizada para discretizar $\frac{dx}{dt}$, ou seja, o problema da variação da produção no tempo.

Percebe-se que $\vec{x}((k+1)T)$ é um vetor que representa dois comportamentos: a produção no instante $k+1$ e o feedback sobre a produção no instante k .

Os resultados desta previsão podem ser verificados no anexo B.

8.4 A matriz B

Como já foi dito anteriormente a matriz de controle **B** representa a política de estocagem que as empresas envolvidas na rede de distribuição desenvolvem para amortizar a incerteza da demanda ou para criar mecanismos de segurança.

O CD em anexo do trabalho com certeza ajudará na simulação dos resultados, sendo

assim inicialmente é simulado uma situação em que todo estoque é eliminado da rede, é possível perceber que se a matriz \mathbf{K} for escolhida de maneira adequada, pouco será o efeito final na relação demanda-abastecimento. Este fato é muito promissor, pois em se tratando de uma situação real, a redução dos estoques é uma alternativa interessante para os gestores do processo. Uma simulação referente a este caso pode ser verificada no anexo C.

O problema que pode haver no caso de redução da política de estocagem é o risco de passar por períodos de variação brusca de demanda e a empresa ser obrigada a imprimir uma matriz \mathbf{K} com valores elevados, desestabilizando o sistema produtivo.

No sentido inverso não há interesse de testar o modelo, pois em praticamente nenhum caso, uma empresa não trabalharia na direção do aumento da política de estocagem. Para o autor só existe um caso em que a simulação de aumento dos estoques seria viável, ou seja, em momentos econômicos de especulação financeira, pois desta forma os estoques aumentam de valor ao longo do tempo.

8.5 A matriz \mathbf{K}

A matriz \mathbf{K} , como já foi exaustivamente mencionado, controla a produção. Ela foi nomeada de força de controle. O seus valores tipicamente devem estar na diagonal e os valores fora diagonal funcionam como amortizador da interação entre o cliente e fornecedor. Simplificando, os elementos k_{ij} com $i = j$ representam a forma como o sistema produtivo de uma empresa deve reagir as mudanças da demanda sobre seus produtos e os elementos k_{ij} com $i \neq j$ representam a força de interação, ou seja, a reação da produção de uma empresa ao aumento ou redução da produção a outra empresa.

Mais uma vez contar-se-á com a ajuda do CD em anexo, pois foram simuladas situações em que os elementos fora da diagonal da matriz eram positivos e situações em que eram negativos. Uma simulação com valores negativos pode ser observada no anexo B e com valores positivos no anexo D. Nota-se que a medida que os valores fora da diagonal vão ficando positivos a política de produção de alguma das empresas começa a ficar fora de controle, o que era de se esperar, pois deve existir um equilíbrio na tomada de decisão, ou seja, uma empresa não pode reagir logo de imediato a um estímulo de produção de outra empresa, sem antes avaliar a extensão da mudança do nível de produção (efeito forrester).

8.6 Funcional Objetivo

Um ponto que justifica um comentário em separado é referente a flexibilidade do modelo quanto ao processo de avaliação da qualidade do resultado, pois a estrutura do

problema e da solução foi criada de forma que independente do funcional objetivo que se queira avaliar, o modelo pode ser ajustado para informar o resultado em tempo real. O modelo atual foi desenvolvido utilizando o **soma quadrática do desvio** como funcional objetivo, pois se estava interessado em melhorar o tempo e a intensidade da resposta de produção em relação a demanda, porém valores financeiros ou de prazos podem ser alocados e assim voltar a rodar uma nova simulação para avaliá-los.

8.7 Conclusão da Simulação

Pode-se concluir que o modelo desenvolvido no capítulo 7 responde aos três objetivos postos do início do trabalho, ou seja, funciona bem para o planejamento da produção e estoques de uma cadeia de abastecimentos, incorpora a incerteza através da análise da demanda por meio do cálculo das probabilidades e finalmente é amigável ao usuário, pois ele pode fazer várias simulações e verificar em tempo real os resultados obtidos.

As limitações que o modelo oferece são de caráter puramente operacional, pois a planilha eletrônica, apesar de ser uma escolha bastante prática (todas empresas, independente do seu porte, utilizam algum software de escritório com uma planilha eletrônica), imprime limitações quanto a número e capacidade de cálculos. O modelo utilizado com duas empresas "rodou" facilmente no software escolhido, porém a medida que aumentam o número de elos, cresce o número de matrizes e de operações matemáticas. Uma solução para o problema descrito é o desenvolvimento de uma ferramenta computacional dedicada para este fim.

9 Conclusões e Sugestões

Para ter sucesso neste mundo é preciso ser louco ou sábio.

Barão de Montesquieu

Vislumbrando a necessidade de melhorar de forma integrada as operações de entrada e saída numa cadeia de abastecimento, o trabalho atual discorre sobre assuntos corriqueiros que auxiliam o dimensionamento de indicadores operacionais para os gestores de produção e logística. É importante ressaltar que tudo que foi escrito anteriormente tem como foco tornar mais próximo ao leitor os modelos apresentadas em vários livros de administração da produção e administração de materiais, bem como defender a aplicação de ferramentas matemáticas para a melhoria dos resultados obtidos destes modelos citados anteriormente.

Esta proposta já foi inicialmente tratada por Araujo(2001), onde o modelo tratado foi de programação linear e mostrando que o uso consciente das ferramentas matemáticas de pesquisa operacional pode trazer resultados positivos no tocante ao planejamento mestre da produção. O problema que ficou sem resposta naquele trabalho refere-se ao tratamento dos dados que são utilizados no modelo de programação linear, pois até aquele momento acreditava-se que os dados utilizados foram obtidos através de modelos assistidos.

A proposta no trabalho atual foi mostrar que através de várias ferramentas diferentes é possível obter um resultado integrado, ou seja, desde que todas as informações sejam tratadas de maneira integrada, os resultados obtidos trarão um aumento dos níveis de serviço para todos os elos de uma rede de suprimentos. Em tese é uma idéia muito simples, porém exige um esforço muito grande do capital humano, pois o paradigma da informação departamentalizada apresentada nos livros de organização, sistemas e Métodos deve ser refutada e dar lugar à informação integrada, sem fronteiras e sem propriedade.

Uma tentativa bem sucedida de integração de informação são os sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), onde virtualmente os departamentos perdem suas fronteiras, comungando da mesma base de dados. O processo pode ser integrado a níveis externos à empresa, inserindo o fornecedor na rede de abastecimento, permitindo que ele visualize informações privilegiadas do processo produtivo, porém todos os dados utilizados são assumidos sem nenhum tratamento, passando uma falsa tranquilidade de certeza absoluta do resultado. Desta forma, não se quer insinuar que os sistemas ERP não são eficazes ou úteis, pois na verdade eles são bastante difundidos ao redor do mundo e se não funcionassem, qual empresa pagaria R\$ 15.000,00 (quinze mil reais) pela licença de uso do *software* R3 da empresa alemã SAP por máquina instalada ou talvez, sendo mais modesto, R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) por licença por máquina do EMS da brasileira

Datasul. Sendo redundante, não se trata de questionar a eficácia dos *software*, mas sim a forma com que eles estejam sendo utilizados.

Em comum acordo com a resposta da pergunta do parágrafo foi desenvolvido o fluxograma da figura 9.1 para auxiliar a elaboração de rotina de tratamento de informações para uso em planejamento de produção.

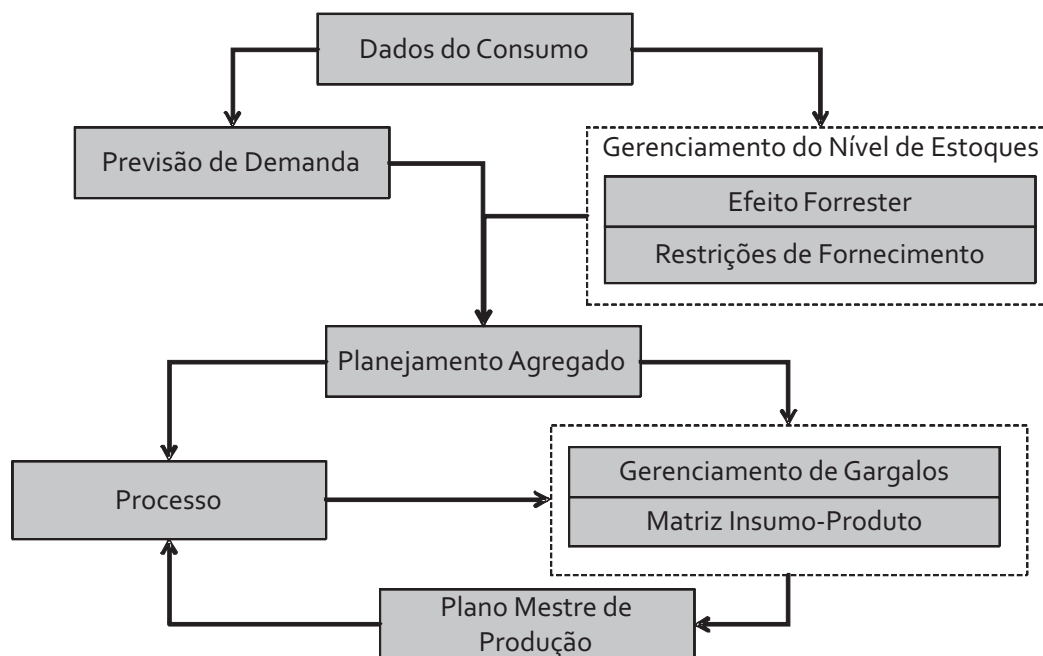


Figura 9.1: Algoritmo de Funcionamento

A idéia central deste algoritmo é mostrar de maneira integrada o caminho a ser percorrido pelos dados para produzir uma informação de qualidade e com parâmetros úteis para a tomada de decisão. O primeiro passo é o levantamento dos dados do consumo, sendo feito inicialmente nas áreas de vendas das empresas. Este passo precisa que todas as pessoas envolvidas com a coleta ou registro dos dados sejam treinadas e principalmente tenham consciência da importância do seu papel no sistema como um todo, pois são comuns problemas de registro e discrepâncias, porém a não correção de dados e no médio prazo a eliminação. A etapa de coleta, apesar de ser o processo mais delicado do algoritmo, não oferece um grau de complexidade muito grande, pois esta fundamentado na capacidade das pessoas serem éticas, corretas e precisas na coleta de informações.

Logo após a coleta de dados são necessárias duas operações paralelas, desenvolvidas em função da coleta dos dados, uma destas operações é a previsão da demanda. O grande esforço desta etapa é relativo a estudar os dados para saber qual melhor modelo de previsão deve ser utilizado. O ideal é que o sistema pudesse apresentar mais de uma opção de previsão, pois o usuário faria a sua escolha e no médio prazo poderia comparar os modelos que lhe oferecem os melhores resultados. A outra etapa que ocorre em paralelo é a

definição de uma política de estocagem para garantir um nível ideal de atendimento para as condições de produção e lucratividade. Esta etapa neste trabalho está fundamentada na capacidade do sistema absorver o efeito forrester e desenhar de forma adequada a matriz insumo-produto da rede de suprimentos. O grande empecilho desta etapa está na construção da matriz insumo-produto da rede de abastecimento e da compreensão dos administradores de que o *Lead Time* de resposta para cada matéria-prima é variável e por isso deve ser considerado de maneira discreta através do seu valor esperado, ao contrário do que se faz hoje, em que define-se um valor fixo e administra a falta através do estoque de segurança ou o excesso através da diminuição do volume produzido, aumentando assim a amplitude do efeito forrester.

A previsão de demanda e a política de estocagem quando analisadas de maneira integrada e concomitante, dá origem ao planejamento agregado, cuja a amplitude de influência é anual. A utilização do gerenciamento assistido na construção do planejamento agregado, apesar de ser desenvolvido por todas as empresas, é fracamente explorado. Uma das possíveis causas da falta de estudo sobre o assunto seja a falta de dados confiáveis sobre a demanda e sobre a dinâmica dos estoques.

Após o planejamento agregado, muito pouco há de ser feito pelo gerenciamento assistido, pois cabe aos engenheiros da produção e administradores de produção o trabalho de organizar os processos de forma que os roteiros de produção sejam seguidos e através destes roteiros faz-se o planejamento das sequências de produção e o planejamento diário das tarefas a serem cumpridas. Um tópico levantado pelo autor para agregar melhorias na execução das tarefas é desenvolver o estudo dos gargalos de processos através de uma metodologia estruturada, tal como a teoria das restrições, fazendo-se uso da programação dinâmica para buscar resultados otimizados para a escolha dos roteiros.

Finalmente, a análise dos processos, juntamente com o estudo dos gargalos produzem roteiros de alta eficiência dão origem ao planejamento mestre de produção. Com relação a este último assunto, em Araujo(2001) foi tratado a problemática do uso da programação linear para melhoria da elaboração do plano e a necessidade de sistematizar o seu uso através de um sistema de informática ou através de planilhas eletrônicas, controladas por pessoal habilitado e com conhecimento do processo produtivo.

9.1 Resultados Obtidos

No fechamento das idéias desenvolvidas durante todo o texto, é possível identificar conclusões bem definidas acerca do modelo desenvolvido:

- Os modelos de planejamento integrado para redes de distribuição, avaliam os resultados de produção e promovem a tomada de decisão considerando o problema do

ótimo local, enquanto se todos então conectados numa rede de produção os resultados devem levar em consideração esta interação. Sendo assim o modelo desenvolvido tem este viés e busca otimizar um funcional objetivo compartilhado, ou seja, busca ótimos globais.

- Outro legado deste modelo é que ele foi idealizado para avaliar a interação entre empresas, considerando um *feedback* dinâmico entre a quantidade produzida e a quantidade disponível para o mercado. Desta forma é possível acompanhar os resultados do funcional objetivo ao longo do tempo.
- O mais importante no modelo é que todas as variáveis utilizadas na sua construção, são, normalmente, registrados pelos processos e de conhecimento geral de qualquer pessoa (em cargo de gerência) numa empresa, logo a coleta dos dados fica extremamente simplificada.

9.2 Sugestões

A conclusão do trabalho corrente abre espaço para o desenvolvimento de novas formas de visualizar e analisar os sistemas produtivos, ou seja, hoje os processos são ditos integrados, porém o planejamento e a gestão é desenvolvida de maneira departamentalizada, mesmo quando se fala em usos de *software* de integração, as tomadas de decisão são feitas com a mesma visão por departamentos, logo é difícil crer que os resultados poderiam ser consistentes.

Como processo evolutivo natural do trabalho, planeja-se dar maior capacidade computacional ao modelo, saindo da planilha, partindo para um *software* completo que contribua para a melhoria das relações de produção entre elos de uma cadeia produtiva efetivamente operacional. Outro ponto a ser acrescentado no modelo desenvolvido, diz respeito a inclusão de inputs financeiros ao processo de simulação de políticas de estocagem e produção.

Referências Bibliográficas

- ARAUJO, OSMAR V. - Introduzindo Algoritmo de Otimização que Incorporam Incerteza no Plano Mestre de Produção. Recife, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2001. 74p.
- BALLOU, RONALD H. - Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos *Planejamento, Organização e Logística Empresarial*. Porto Alegre, Bookman, 2001, 4a. edição.
- CAVALCANTI, RICARDO H. F. - Viabilizando a implementação de métodos quantitativos em organizações. Recife, Dissertação de Mestrado, UFPE, 2000. 172p
- COLIN, EMERSON, C. - Pesquisa Operacional (*170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas*). Rio de Janeiro, LTC, 2007.
- CHASE, RICHARD B. & JACOBS, F. ROBERT & AQUILANO, NICHOLAS J. - Administração da Produção para Vantagem Competitiva. 10ª Edição, Porto Alegre, Bookman, 2006.
- CORREA, HENRIQUE L. & GIANESI, IRINEU G. N. - Planejamento, Programação e Controle da Produção *MRP II / ERP Conceitos, Uso e Implantação*. São Paulo, Atlas, 1997.
- DAVENPORT, WILBUR B. JR. - Random Process an Introduction for applied scientists and engineers. McGraw-Hill Book Company, 1970.
- DRAPER, NORMAN R. & SMITH, HARRY - Applied Regression Analysis. 3a. edição, Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1998.
- DORF, RICHARD C. - Sistemas de Controles Modernos. 8ª Edição, Rio de Janeiro, LTC, 2001.
- MOREIRA, DANIEL A. - Administração da Produção e Operações. 3a. edição, São Paulo, Pioneira, 1998.
- FORRESTER, JAY W. - Industrial Dynamics. Oregon, Productivity Press, 1961.
- GOLDRATT, ELIYAHU M. & COX, JEFF - A Meta. São Paulo, Editora Nobel, 2003.
- GOLDRATT, ELIYAHU M. - Não é Sorte - *a aplicação dos Processos de Raciocínio da Teoria das Restrições*. São Paulo, Editora Nobel, 2004.
- GOLDRATT, ELIYAHU M. - Necessária Sim, mas Não Suficiente. São Paulo, Editora Nobel, 2008.
- HENRY, FORD - Os Princípios da Prosperidade. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, 1964.
- KENDALL, GERALD I. - Visão Viável *Transformando Faturamento em Lucro Líquido*. Porto Alegre, Bookman, 2007.
- LEONTIEF, WASSILY - Input-Output Economics. New York, Oxford Univesity Press, 1966.
- MORETTIN, PEDRO A. & TOLOI, CLÉLIA, M. DE C. - Previsão de Séries Temporais.

São Paulo, Atual, 1985.

OGATA,KATSUHIKO. - Engenharia de Controle Moderno. 4a. edição, Rio de Janeiro, Prentice Hall Brasil, 2003.

PLOSSL, GEORGE W. - Orlicky's Material Requirements Planning. Nova Iorque, McGraw-Hill, 1995.

PROUD, JOHN F. - Master Scheduling *A practical guide to competitive manufacturing*. 2a. edição, Nova Iorque, John Wiley & Sons, 1999.

PUCCINI, ABELARDO DE L. - Introdução à Programação Linear. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora S/A, 1984.

RITZMAN, L. & KRAJEWSKI, L. & MOURA, R. - MRP / MRP II / MRP III (MRP + JIT com KANBAN). 2a. edição, São Paulo, IMAN, 1989.

SIMCHI-LEVI, DAVID & KAMINSKY, PHILIP & SIMCHI-LEVI, EDITH. - Desinging and Managing the Supply Chain *Concepts, Strategies and Case Studies*. 3a. edição, Ohio, Macgraw-Hill, 2007.

SLACK, NIGEL et al. - Administração da Produção. São Paulo, Atlas, 1997.

TAYLOR, FREDERICK W. - Princípios de Administração Científica. São Paulo, Atlas, 1995.

VOGT, William G. & MICKLE, Marlin H. & ALDERMESHIAN, Hrair. A dynamic Leontief Model for a productive system.Proceedings of the IEEE, Volume 63, Número 3, Páginas 438-443, 1975.

WAGNER, HARVEY M. - Pesquisa Operacional. São Paulo, Prentice/Hall do Brasil, 1986, 2a. edição.

WANKE, PETER & JULIANELLI, LEONARDO - Previsão de Vendas *Processos Organizacionais & Métodos Quantitativos e Qualitativos*. São Paulo, Atlas, 2006.

YAN, CHIOU-Shuang & AMES, EDWARD. Economic Interrelatedness, Review of Economic Studies, Volume 32, Número 4, Páginas 299-310, October 1965.

<http://portalexame.abril.com.br/revista/exame/edicoes/0869/gestaoepessoas... .../m0082438.html>.

Site acessado em 15 de Outubro de 2008.

Apêndice A Mapa das Causas Prováveis

Necessidades do Cliente	Contribuição do Processo 1	...	Contribuição do Processo n	Grau de Importância

Apêndice B Resultados da Simulação

Faça você mesmo a sua simulação

Matriz A. (Tecnologia de Produção)

0,3	0,15
0,1	0,13

Matriz B. (Controle do Estoque)

0,02	0,01
0,01	0,025

T
0,25

Rendimento
2.092,37
1.873,86
3.966,24

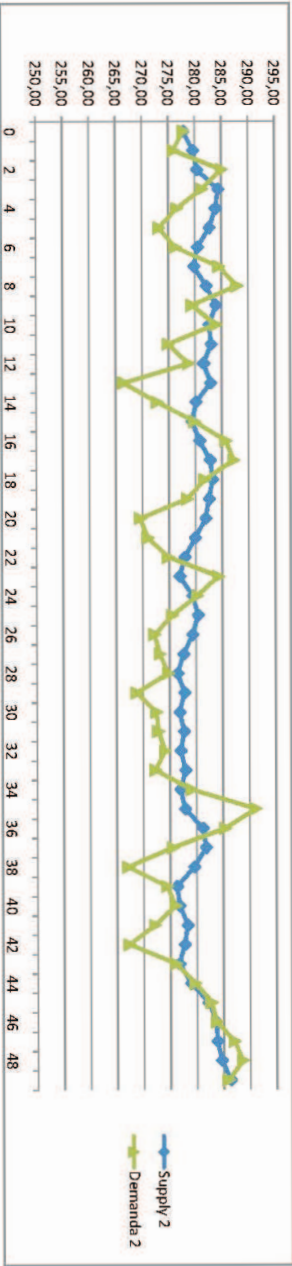
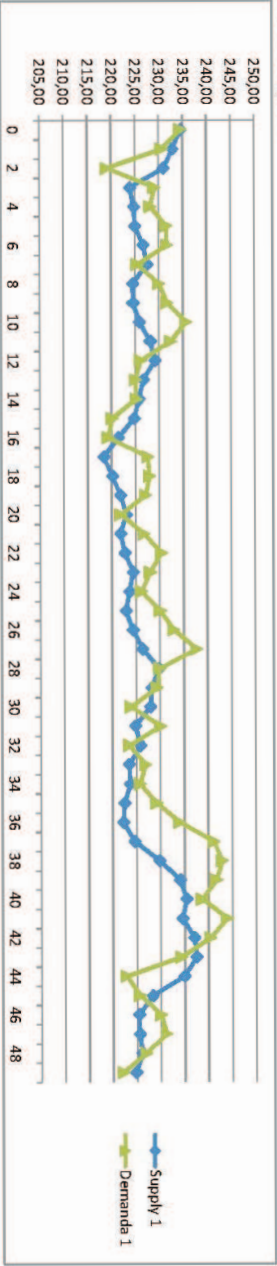
Matriz K. (Resposta a Demanda)

2,75	-0,5
-1	1,5

$\lambda_1 = -2,70359$

$\lambda_2 = -0,86199$

Os autovalores devem ser negativos



Simulação do Sistema Dinâmico

Vetor $x_0 =$		250												
		300												
$\frac{dx}{dt}$ no casodiscretoseráutilizadox($k_{t+1}T$) = $G(T)x(kT) + H(T)d(kT)$														
Probabilidade =		0,9												
k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
d1	234,54	230,63	219,11	229,11	228,20	231,54	231,68	225,50	230,02	231,68	235,68	232,50	226,16	225,02
d2	277,87	275,96	285,11	281,35	276,59	276,35	284,54	287,96	279,44	283,92	274,92	278,78	266,54	
G(T)x ₀ (kT)	304,58	303,52	301,78	297,14	297,57	297,52	298,40	298,81	297,09	297,62	298,65	300,45	300,67	298,70
G(T)x ₀ (kT)	317,09	318,01	318,11	319,26	318,96	317,99	316,80	316,61	317,81	319,07	318,62	319,29	318,43	318,39
H(T)d1(kT)	106,97	105,03	98,40	103,90	103,71	105,67	105,56	101,80	103,98	105,37	107,21	106,07	102,50	102,63
H(T)d2(kT)	51,60	51,43	54,68	52,92	51,79	50,67	51,45	54,02	54,52	52,23	53,04	51,02	52,50	49,49
x(k+1)T ₁	413,68	411,55	408,54	400,18	401,04	401,28	403,19	403,96	400,61	401,07	402,99	405,86	406,52	403,17
x(k+1)T ₂	366,94	368,69	369,44	372,79	372,18	370,75	368,66	368,24	370,63	372,33	371,30	371,67	370,31	370,93
Matriz (I - BK) ⁻¹ BKd1	12,56	12,36	11,87	12,32	12,25	12,39	12,42	12,17	12,40	12,43	12,65	12,45	12,17	12,05
Matriz (I - BK) ⁻¹ BKd2	9,97	9,90	10,17	10,07	9,91	9,81	9,91	10,17	10,30	10,02	10,18	9,87	9,98	9,57
Matriz (I - BK) ⁻¹ (I - A)x ₁	247,09577	245,26555	242,94850	236,31590	237,03310	237,43231	239,14762	239,77236	236,95769	237,03884	238,59854	240,64329	241,33808	238,78530
Matriz (I - BK) ⁻¹ (I - A)x ₂	287,84322	289,63034	290,61258	294,46683	293,83897	292,52389	290,45475	289,99859	292,48342	293,96835	292,84847	292,88492	291,59537	292,49839
s ₁	234,54	232,90	231,08	223,99	224,78	225,04	226,73	227,60	224,56	224,61	225,95	228,20	229,17	226,74
s ₂	277,87	279,73	280,44	284,39	283,93	282,71	280,54	279,83	282,18	283,95	282,67	283,02	281,61	282,93
d1-s1	0,00	-2,27	-11,97	5,12	3,42	6,50	4,95	-2,11	5,46	7,08	9,73	4,30	-3,01	-1,72
d2-s2	0,00	-3,77	4,67	-3,04	-7,34	-9,46	-4,19	4,71	5,78	-4,51	1,25	-8,09	-2,84	-16,40
	0,00	5,15	143,23	26,17	11,72	42,21	24,51	4,45	29,80	50,08	94,67	18,47	9,05	2,96
	0,00	14,20	21,82	9,26	53,84	89,47	17,57	22,19	33,42	20,31	1,57	65,52	8,06	268,80
3,966,24		DMQ												
		8,91												

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
225,20	220,20	219,35	227,59	227,92	227,11	221,87	226,72	230,39	228,06	226,20	230,11	232,92	237,68	229,92	229,35	223,92	230,11	223,54
272,87	279,87	285,78	287,20	281,78	278,44	269,59	271,02	274,87	284,30	280,30	275,54	272,20	273,20	274,78	268,87	272,54	272,87	274,11
297,15	295,92	293,48	291,76	293,39	294,61	295,09	293,69	294,07	295,28	295,27	294,93	296,01	297,49	299,77	298,76	298,03	295,76	296,28
315,98	315,15	315,48	316,34	317,11	316,96	316,45	314,56	313,37	313,31	314,99	315,46	315,01	314,33	314,33	314,77	313,92	313,74	313,47
102,35	99,29	98,49	102,75	103,25	103,02	100,79	103,26	104,97	103,17	102,43	104,78	106,46	108,91	104,72	104,78	101,69	104,94	101,40
51,08	53,26	54,83	54,53	53,12	52,34	50,52	50,49	51,17	53,75	52,89	51,37	50,29	50,17	51,19	49,74	51,10	50,69	51,53
401,33	399,50	395,21	391,97	394,51	396,64	397,63	395,88	396,95	399,04	398,45	397,70	399,71	402,47	406,40	404,50	403,53	399,72	400,70
367,88	367,07	368,41	370,30	370,87	370,23	369,30	366,97	365,05	364,54	367,06	367,88	366,82	365,30	364,50	365,51	364,51	365,03	364,43
12,09	11,89	11,89	12,28	12,27	12,21	11,92	12,15	12,35	12,29	12,18	12,34	12,45	12,68	12,32	12,27	12,03	12,32	12,02
9,78	10,00	10,20	10,27	10,09	9,97	9,66	9,72	9,86	10,17	10,03	9,88	9,78	9,82	9,86	9,66	9,76	9,79	9,82
237,90757	236,69051	233,34194	230,67704	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
289,94197	289,39430	291,03536	293,06771	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####
225,82	224,80	221,46	218,40	220,18	221,90	223,06	221,90	222,78	224,45	223,74	222,91	224,42	226,45	229,81	228,32	228,00	224,84	225,95
280,16	279,39	280,84	282,80	283,23	282,56	281,94	279,96	277,98	277,00	279,46	280,42	279,38	277,68	276,53	277,84	276,92	277,75	277,09
-0,61	-4,59	-2,11	9,19	7,74	5,21	-1,19	4,83	7,61	3,61	2,46	7,20	8,50	11,23	0,12	1,03	-4,08	5,27	-2,41
-7,29	0,48	4,94	4,40	-1,46	-4,11	-12,35	-8,94	-3,11	7,30	0,84	-4,89	-7,17	-4,48	-1,75	-8,96	-4,38	-4,88	-2,98
0,37	21,09	4,44	84,52	59,89	27,13	1,42	23,33	57,94	13,04	6,07	51,83	72,21	126,17	0,01	1,06	16,65	27,81	5,82
53,17	0,23	24,39	19,39	2,12	16,91	152,45	79,93	9,69	53,25	0,70	23,87	51,47	20,05	3,07	80,37	19,21	23,77	8,88

[illegible]

Apêndice C Simulação Matriz B - Estoque Zero

Faça você mesmo a sua simulação

Matriz A (Tecnologia de Produção)

0,3	0,15
0,1	0,13

Matriz B (Controle do Estoque)

0	0
0	0

T
0,25

Rendimento
2.719,35
1.894,03
4.613,38

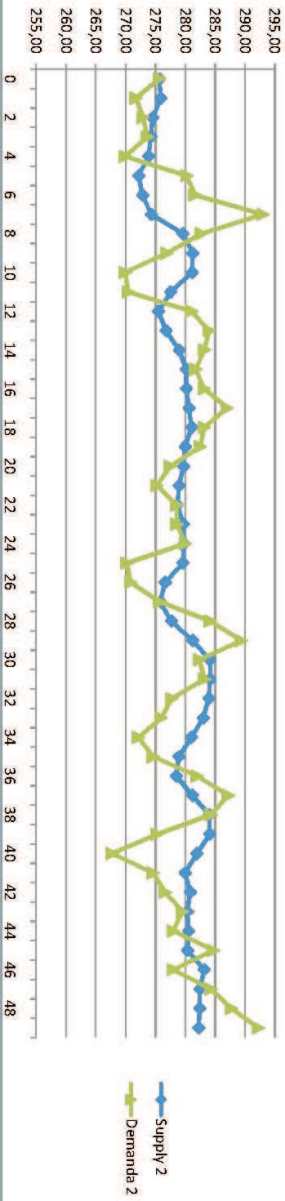
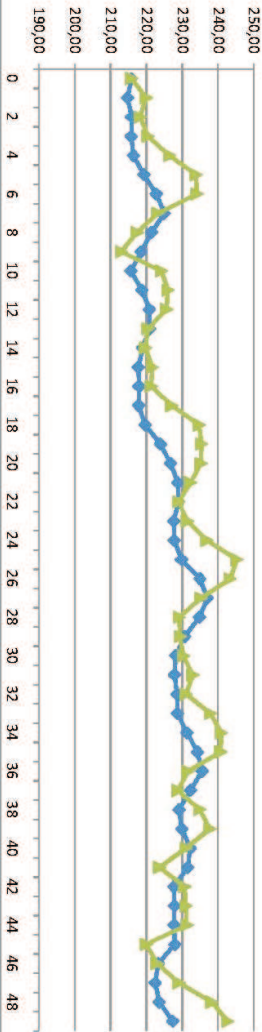
Matriz K (Resposta a Demanda)

2,75	-0,5
-1	1,5

$\lambda_1 = -2,60268$

$\lambda_2 = -0,82732$

Os autovalores devem ser negativos



Apêndice D Simulação Matriz K - Valores positivos

Faça você mesmo a sua simulação

Matriz A (Tecnologia de Produção)

0,3	0,15
0,1	0,13

Matriz B (Controle do Estoque)

0,02	0,01
0,01	0,025

T	Rendimento
0,25	3.653,01
	150.845,83
	154.498,84

Matriz K (Resposta a Demanda)

2,75	0,02
0,3	1,5

$\lambda_1 = -1,97813$
 $\lambda_2 = -1,36528$
Os autovalores devem ser negativos

