

BRUNO ALVAREZ FERREIRA IGNÁCIO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA  
APOIO À TOMADA DE DECISÃO EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Centro Universitário da FEI, para obtenção do  
título de Mestre em Engenharia Mecânica,  
Área de Produção, orientado pelo Prof. Dr.  
Alexandre Augusto Massote

São Bernardo do Campo

2009



Aos meus pais, Josefa e Raimundo, por  
sempre estarem ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador e amigo, professor Dr. Alexandre Augusto Massote que, com muita dedicação e atenção assistiu-me ao longo deste mestrado. Seus ensinamentos, orientações e incentivo foram fundamentais para o desenvolvimento e a conclusão desta dissertação.

Ao professor Ms. Mario de Souza Nogueira Neto, pelas valiosas contribuições que certamente auxiliaram no desenvolvimento e no aperfeiçoamento deste estudo.

Aos professores Dr. João Chang Junior e Dr. Wilson de Castro Hilsdorf, pelas correções e sugestões apresentadas durante a qualificação deste estudo.

Aos professores do Departamento de Produção do Mestrado em Engenharia Mecânica do Centro Universitário da FEI, pelos ensinamentos recebidos e pelos proveitosos diálogos ao longo deste programa de mestrado.

Aos colegas de turma do mestrado em Engenharia Mecânica, na área de produção, pelo excelente convívio durante o curso.

À minha família, que me incentivou ao longo de todo o mestrado.

Em especial à minha mãe, Josefa, exemplo de vida, que sempre me apoiou e incentivou incondicionalmente. Se não fosse por você, com certeza, não teria chegado até aqui. Muito obrigado.

Finalmente, a todos os que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

## RESUMO

O cenário de negócios atual é caracterizado pela alta competitividade e pelo aumento do nível de exigência do consumidor. Ele exige das organizações novos padrões de custo, de qualidade, de agilidade e de flexibilidade que podem ser alcançados com o aumento da eficiência dos processos internos e externos. Nesse contexto, a configuração e a gestão da cadeia de suprimentos ganharam importância. As organizações começaram a vê-las como uma maneira para aumentarem seus retornos e obterem vantagem competitiva sobre seus concorrentes. Na gestão de uma cadeia de suprimentos são tomadas diversas decisões que podem influenciar no resultado final da mesma. Este estudo propõe um modelo de programação linear para auxiliar a tomada de decisão em uma cadeia de suprimentos. Ele procura maximizar o lucro total de toda a cadeia ao longo de um determinado horizonte de planejamento, para isso o mesmo utiliza informações oriundas de todos os integrantes dessa cadeia. Para verificar sua eficácia ele é aplicado a uma cadeia de suprimentos hipotética em nove diferentes situações de variações de demandas e de capacidades de produção e estocagem dos vários integrantes da cadeia considerada. São feitas, ainda, comparações entre os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto e com outro modelo de gestão.

Palavras-chave: Cadeia de Suprimentos; Decisões Organizacionais; Pesquisa Operacional; Programação Linear.

## **ABSTRACT**

The current business scenario is characterized by a high competition and an increased level of consumer demand. It requires organizations to apply new cost, quality, agility and flexibility standards that can be achieved by increasing the efficiency of internal and external processes. In this context, the supply chain and the supply chain management have gained importance. Organizations began to see them as a way to increase their profits and gain competitive advantage over their competitors. In the supply chain management various decisions are made that can influence the final result of the supply chain. This study aims to develop a linear programming model to assist decision making in a supply chain. The main objective of the proposed model is to maximize the total profit of the entire supply chain during a given period of time, by using information provided by all the members of the supply chain. To verify its effectiveness, the proposed model is applied to a hypothetical supply chain in nine different scenarios. These scenarios simulate various changes in product demand and in production and storage capacity from several members of the supply chain. Finally comparisons are made between the results obtained with the proposed model and another management model.

**Keywords:** Supply Chain, Organizational Decisions, Operations Research, Linear Programming.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Exemplo de uma cadeia de suprimentos.....                                         | 27 |
| Figura 2 - Níveis de complexidade de uma cadeia de suprimentos.....                          | 28 |
| Figura 3 - Transição da Logística Clássica para a Gestão da Cadeia de Suprimentos .....      | 31 |
| Figura 4 - Potenciais origens da Gestão da Cadeia de Suprimentos .....                       | 32 |
| Figura 5 - Integrando os processos-chave de negócios ao longo da cadeia de suprimentos. .... | 36 |
| Figura 6 - Componentes gerenciais. ....                                                      | 39 |
| Figura 7 - Tipos de relacionamentos .....                                                    | 40 |
| Figura 8 - O papel da informação no sucesso da cadeia de suprimentos. ....                   | 44 |
| Figura 9 - Características das decisões administrativas.....                                 | 48 |
| Figura 10 - Níveis de tomada de decisão em uma organização.....                              | 49 |
| Figura 11 - Processo Decisorial sob a ótica da Organização.....                              | 53 |
| Figura 12 - Abrangência do SAD em relação à estruturação da decisão. ....                    | 57 |
| Figura 13 - Características de um Sistema de Apoio à Decisão ideal .....                     | 58 |
| Figura 14 - Esquematização dos componentes de um SAD.....                                    | 60 |
| Figura 15 - Processo de modelagem.....                                                       | 70 |
| Figura 16 - Fases de um estudo de pesquisa operacional. ....                                 | 74 |
| Figura 17 - Hipóteses da programação linear.....                                             | 80 |
| Figura 18 - Ilustração da cadeia de suprimentos modelada.....                                | 86 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gráfico 1 - Representação das demandas do cenário 1 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 90  |
| Gráfico 2 - Representação da demanda do cenário 2 em relação às capacidades máximas de produção por período.....   | 92  |
| Gráfico 3 - Representação das demandas do cenário 3 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 94  |
| Gráfico 4 - Representação das demandas do cenário 4 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 97  |
| Gráfico 5 - Representação das demandas do cenário 5 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 100 |
| Gráfico 6 - Representação das demandas do cenário 6 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 102 |
| Gráfico 7 - Representação das demandas do cenário 7 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 105 |
| Gráfico 8 - Representação das demandas do cenário 9 em relação às capacidades máximas de produção por período..... | 111 |
| Gráfico 9 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 4 .....                 | 125 |
| Gráfico 10 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 6 .....                | 131 |
| Gráfico 11 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 7 .....                | 135 |
| Gráfico 12 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 8 .....                | 139 |
| Gráfico 13 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 9 .....                | 143 |



## **LISTA DE QUADROS**

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Principais métodos de pesquisa usados em engenharia de produção..... | 22 |
| Quadro 2 - Roteiro simplificado para a escolha de métodos de pesquisa .....     | 23 |
| Quadro 3 - Critérios para o sucesso das parcerias .....                         | 43 |
| Quadro 4 - Tipos de problemas e níveis de decisão .....                         | 51 |
| Quadro 5 - Aspectos de um SAD para a cadeia de suprimentos .....                | 67 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 - Capacidades das organizações pertencentes à cadeia de suprimentos. ....                                                               | 87  |
| Tabela 2 - Custos de estocagem ao longo da cadeia de suprimentos. ....                                                                           | 88  |
| Tabela 3 - Demandas dos consumidores .....                                                                                                       | 88  |
| Tabela 4 - Margens de contribuição .....                                                                                                         | 89  |
| Tabela 5 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 1 .....                                                                            | 91  |
| Tabela 6 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>suprir a demanda do mesmo período no cenário 1 .....  | 91  |
| Tabela 7 - Demandas dos consumidores no cenário 2 .....                                                                                          | 93  |
| Tabela 8 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 2 .....                                                                            | 93  |
| Tabela 9 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>suprir a demanda do mesmo período no cenário 2 .....  | 94  |
| Tabela 10 - Demandas dos consumidores no cenário 3.....                                                                                          | 95  |
| Tabela 11 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 3.....                                                                            | 96  |
| Tabela 12 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>suprir a demanda do mesmo período no cenário 3 ..... | 96  |
| Tabela 13 - Demandas dos consumidores no cenário 4.....                                                                                          | 97  |
| Tabela 14 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>suprir a demanda do mesmo período no cenário 4 ..... | 98  |
| Tabela 15 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>estoque no cenário 4 .....                           | 99  |
| Tabela 16 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 4.....                                                                            | 99  |
| Tabela 17 - Demandas dos consumidores no cenário 5.....                                                                                          | 100 |
| Tabela 18 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 5.....                                                                            | 101 |
| Tabela 19 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>suprir a demanda do mesmo período no cenário 5 ..... | 102 |
| Tabela 20 - Demandas dos consumidores no cenário 6.....                                                                                          | 103 |
| Tabela 21 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 6.....                                                                            | 104 |
| Tabela 22 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para<br>suprir a demanda do mesmo período no cenário 6 ..... | 104 |

|                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 23 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidas em cada organização para estoque no cenário 6 .....                           | 105 |
| Tabela 24 - Demandas dos consumidores no cenário 7.....                                                                                       | 106 |
| Tabela 25 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 7 .....                                                                        | 107 |
| Tabela 26 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 7 ..... | 107 |
| Tabela 27 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 7 .....                           | 108 |
| Tabela 28 - Capacidades das organizações no cenário 8.....                                                                                    | 109 |
| Tabela 29 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 8.....                                                                         | 109 |
| Tabela 30 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 8 ..... | 110 |
| Tabela 31 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 8 .....                           | 110 |
| Tabela 32 - Demanda dos consumidores no cenário 9 .....                                                                                       | 112 |
| Tabela 33 - Capacidades das organizações no cenário 9.....                                                                                    | 112 |
| Tabela 34 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 9.....                                                                         | 113 |
| Tabela 35 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 9 ..... | 113 |
| Tabela 36 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 9 .....                           | 114 |
| Tabela 37 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 1.....                                                           | 116 |
| Tabela 38 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 1 .....                                                    | 116 |
| Tabela 39 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 1.....                                                               | 117 |
| Tabela 40 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 2.....                                                           | 118 |
| Tabela 41 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 2 .....                                                    | 119 |
| Tabela 42 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 2.....                                                               | 120 |
| Tabela 43 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 3.....                                                           | 120 |
| Tabela 44 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 3 .....                                                    | 121 |
| Tabela 45 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 3.....                                                               | 122 |
| Tabela 46 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 4.....                                                           | 123 |
| Tabela 47 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 4 .....                                                    | 123 |
| Tabela 48 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 4.....                                                               | 124 |
| Tabela 49 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 5.....                                                           | 126 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 50 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 5 ..... | 127 |
| Tabela 51 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 5.....            | 128 |
| Tabela 52 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 6.....        | 129 |
| Tabela 53 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 6 ..... | 130 |
| Tabela 54 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 6.....            | 130 |
| Tabela 55 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 7.....        | 132 |
| Tabela 56 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 7 ..... | 133 |
| Tabela 57 - Resultados que poderiam obtidos com o modelo padrão no cenário 7 .....         | 134 |
| Tabela 58 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 8.....        | 136 |
| Tabela 59 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 8 ..... | 137 |
| Tabela 60 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 8.....            | 138 |
| Tabela 61 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 9.....        | 140 |
| Tabela 62 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 9 ..... | 141 |
| Tabela 63 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 9.....            | 142 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

BD - Banco de dados

BM - Banco de modelos

CD - Centro de distribuição

CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*

CS - Cadeia de suprimentos

DSS - *Decision support systems*

EIS - *Executive information systems*

ERP - *Enterprise resource planning*

GCS - Gestão da cadeia de suprimentos

GDSS - *Group decision support systems*

GSCF - *Global Supply Chain Forum*

SAD - Sistemas de apoio à decisão

LINDO - *Linear Interactive and Discrete Optimizer*

OLAP - *Online analytical processing*

PO - Pesquisa operacional

PL - Programação linear

## SUMÁRIO

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>LISTA DE FIGURAS.....</b>                                          | <b>7</b>  |
| <b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>                                        | <b>8</b>  |
| <b>LISTA DE QUADROS.....</b>                                          | <b>9</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                          | <b>10</b> |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>                                     | <b>13</b> |
| <b>1 - APRESENTAÇÃO.....</b>                                          | <b>17</b> |
| 1.1 - Introdução .....                                                | 17        |
| 1.2 - Objetivos.....                                                  | 19        |
| 1.3 - Perguntas a serem respondidas .....                             | 19        |
| 1.4 - Justificativas do estudo .....                                  | 20        |
| 1.5 - Abrangência do estudo .....                                     | 20        |
| 1.6 - Metodologia.....                                                | 21        |
| 1.7 - Organização do estudo .....                                     | 24        |
| <b>2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                                 | <b>25</b> |
| 2.1 - Cadeia de suprimentos .....                                     | 25        |
| 2.1.1 - Gestão da cadeia de suprimentos .....                         | 29        |
| 2.1.2 - Integração de processos na cadeia de suprimentos .....        | 37        |
| 2.1.3 - Parcerias entre empresas da cadeia de suprimentos.....        | 40        |
| 2.1.4 - Compartilhamento de informações na cadeia de suprimentos..... | 44        |
| 2.2 - Teoria da decisão .....                                         | 46        |
| 2.2.1 - Decisões e o processo decisório nas organizações .....        | 47        |
| 2.3 - Sistemas de apoio à decisão .....                               | 54        |
| 2.3.1 - Sistemas de apoio à decisão na cadeia de suprimentos.....     | 63        |
| 2.4 - Otimização.....                                                 | 68        |
| 2.4.1 - Modelos e modelagem matemática.....                           | 68        |
| 2.4.2 - Pesquisa operacional.....                                     | 72        |
| 2.4.3 - Programação linear .....                                      | 77        |
| <b>3 - MODELO PROPOSTO.....</b>                                       | <b>81</b> |

|                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.1 - Considerações iniciais .....                                                                                              | 81         |
| 3.2 - Descrição do modelo proposto.....                                                                                         | 83         |
| <b>4 - APLICAÇÕES DO MODELO PROPOSTO .....</b>                                                                                  | <b>86</b>  |
| 4.1 - Descrição da cadeia de suprimentos hipotética .....                                                                       | 86         |
| 4.1.1 - Condições iniciais da cadeia de suprimentos hipotética .....                                                            | 86         |
| <b>4.2 - Cenários.....</b>                                                                                                      | <b>89</b>  |
| 4.2.1 - Cenário 1.....                                                                                                          | 89         |
| 4.2.1.1 - Resultados do cenário 1 .....                                                                                         | 90         |
| 4.2.2 - Cenário 2.....                                                                                                          | 92         |
| 4.2.2.1 - Resultados do cenário 2 .....                                                                                         | 93         |
| 4.2.3 - Cenário 3.....                                                                                                          | 94         |
| 4.2.3.1 - Resultados do cenário 3 .....                                                                                         | 95         |
| 4.2.4 - Cenário 4.....                                                                                                          | 96         |
| 4.2.4.1 - Resultados do cenário 4 .....                                                                                         | 98         |
| 4.2.5 - Cenário 5.....                                                                                                          | 99         |
| 4.2.5.1 - Resultados do cenário 5 .....                                                                                         | 101        |
| 4.2.6 - Cenário 6.....                                                                                                          | 102        |
| 4.2.6.1 - Resultados do cenário 6 .....                                                                                         | 103        |
| 4.2.7 - Cenário 7.....                                                                                                          | 105        |
| 4.2.7.1 - Resultados do cenário 7 .....                                                                                         | 106        |
| 4.2.8 - Cenário 8.....                                                                                                          | 108        |
| 4.2.8.1 - Resultados do cenário 8 .....                                                                                         | 109        |
| 4.2.9 - Cenário 9.....                                                                                                          | 111        |
| 4.2.9.1 - Resultados do Cenário 9.....                                                                                          | 112        |
| <b>5 - ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS .....</b>                                                                                | <b>115</b> |
| <b>5.1 - Análise dos resultados do cenário 1 .....</b>                                                                          | <b>115</b> |
| 5.1.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 1 ..... | 117        |
| <b>5.2 - Análise dos resultados do cenário 2 .....</b>                                                                          | <b>117</b> |
| 5.2.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 2 ..... | 119        |
| <b>5.3 - Análise dos resultados do cenário 3 .....</b>                                                                          | <b>120</b> |

|                                                                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 3 ..... | 121        |
| <b>5.4 - Análise dos resultados do cenário 4 .....</b>                                                                          | <b>122</b> |
| 5.4.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 4 ..... | 124        |
| <b>5.5 - Análise dos resultados do cenário 5 .....</b>                                                                          | <b>125</b> |
| 5.5.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 5 ..... | 127        |
| <b>5.6 - Análise dos resultados do cenário 6 .....</b>                                                                          | <b>128</b> |
| 5.6.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 6 ..... | 130        |
| <b>5.7 - Análise dos resultados do cenário 7 .....</b>                                                                          | <b>131</b> |
| 5.7.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 7 ..... | 134        |
| <b>5.8 - Análise dos resultados do cenário 8 .....</b>                                                                          | <b>135</b> |
| 5.8.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 8 ..... | 138        |
| <b>5.9 - Análise dos resultados do cenário 9 .....</b>                                                                          | <b>139</b> |
| 5.9.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 9 ..... | 142        |
| <b>6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES .....</b>                                                                           | <b>144</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                                                         | <b>146</b> |
| <b>APÊNDICE A .....</b>                                                                                                         | <b>154</b> |
| <b>APÊNDICE B.....</b>                                                                                                          | <b>175</b> |



## **1 - APRESENTAÇÃO**

### **1.1 - Introdução**

Nos tempos atuais a cadeia de suprimentos (CS) tornou-se um dos focos estratégicos para aumentar a competitividade das organizações.

A visualização da cadeia de suprimentos e de sua gestão como fatores estratégicos deu-se nas últimas décadas do século XX, quando as organizações perceberam que olhar apenas para os processos internos não era mais suficiente para garantir ou alavancar sua lucratividade.

Assim, o foco previamente voltado para a otimização dos custos inerentes à própria organização passou a ser centrado na CS. Percebeu-se que era possível melhorar a qualidade dos produtos e dos serviços, diminuir os custos de produção, estocagem e distribuição, e ao mesmo tempo aumentar a lucratividade através de uma melhor gestão da própria cadeia.

A gestão de cadeia de suprimentos tem como objetivo integrar os processos ocorridos ao longo da cadeia, melhorando a eficiência e a eficácia da CS. Apesar de ser um fator importante para aumentar o desempenho, devido aos escassos recursos que normalmente as organizações possuem não se pode integrar todos os processos (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000; HILSDORF, 2007).

Torna-se necessário, portanto, determinar qual processo e o quanto ele deve ser integrado. Lambert, Cooper e Pagh (1998) apresentam no seu estudo um modelo de gestão da cadeia de suprimentos que possui três elementos principais: a estrutura da cadeia de suprimentos, os processos de negócios e os componentes gerenciais.

Os componentes gerenciais são variáveis manuseáveis através das quais os processos podem ser gerenciados e integrados ao longo da cadeia de suprimentos. Os autores identificaram nove componentes, dentre eles o fluxo de informação (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000).

A informação é um elemento essencial para o desempenho da cadeia de suprimentos. Seu uso eficaz possibilita: a redução da variabilidade da cadeia, a realização de melhores previsões de demanda, o melhor atendimento dos clientes, etc (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

O compartilhamento de informações entre os membros permite que os administradores da cadeia de suprimentos tomem decisões levando em conta fatores de todas as organizações da CS (CHOPRA; MEINDL, 2003).

O presente estudo propõe um modelo otimizante estruturado na técnica de programação linear, que utiliza informações dos integrantes da cadeia de suprimentos para maximizar o lucro total da CS, através da redução de estoques e do atendimento mais eficaz do cliente final.

O modelo proposto por este estudo servirá, então, como suporte às decisões ocorridas dentro da cadeia de suprimentos, que são caracterizadas pelo risco, pela incerteza, pela falta de estrutura e pelo conflito (BATEMAN; SNELL, 2009).

Estas decisões abordam todos os níveis hierárquicos de uma organização. Envolvem desde situações de grande risco, que necessitam grande volume de investimento, até situações que possuem pouco risco e incerteza (CHOPRA; MEINDL, 2003).

O sistema de apoio à decisão é um sistema de informação, o qual se utiliza de dados e informações e de um modelo para auxiliar o tomador de decisão em sua escolha. Para isso ele processa as informações utilizando um modelo e sugere, através de um módulo de *interface* de simples interpretação, alternativas para a resolução de determinada situação.

Neste estudo ele servirá como intermediário, auxiliando nas decisões relacionadas à cadeia de suprimentos. Ele utilizará as informações relevantes originadas dos integrantes da cadeia de suprimentos e o modelo de programação linear proposto, a fim de sugerir ao tomador de decisão a melhor alternativa dentre as possíveis para a resolução da situação enfrentada.

A programação linear é uma das diversas técnicas de pesquisa operacional. Sua aplicação possibilita encontrar a solução ótima para a resolução de uma situação com recursos escassos. Para isso, ela modela matematicamente o sistema, formalizando as variáveis, as restrições e o objetivo a ser alcançado.

O modelo proposto neste estudo será aplicado em uma cadeia de suprimentos hipotética, a qual representará uma CS real. Para verificar sua efetividade será testado em nove diferentes cenários, nos quais serão manipuladas duas variáveis: as demandas previstas e as capacidades das organizações.

## **1.2 - Objetivos**

O presente estudo tem como objetivo desenvolver um modelo de programação linear para auxiliar a tomada de decisão em uma cadeia de suprimentos, visando a maximização do lucro global da cadeia em um dado horizonte de planejamento.

Os objetivos específicos a serem alcançados são:

- Analisar as características de um sistema de apoio à decisão, verificando sua aplicabilidade nas decisões tomadas na cadeia de suprimentos e sua compatibilidade com o modelo de programação linear proposto;
- Verificar a efetividade do modelo de programação linear proposto, através de sua aplicação em diferentes cenários de uma cadeia de suprimentos hipotética;
- Averiguar o desempenho do modelo proposto, através da comparação entre os resultados que seriam obtidos com ele e os resultados que seriam alcançados utilizando-se outro modelo de gestão.

## **1.3 - Perguntas a serem respondidas**

O presente estudo busca respostas para as seguintes questões:

- A decisão compartilhada, que mensura informações de todas as organizações da cadeia de suprimentos, pode contribuir para o aumento da lucratividade da cadeia?
- Um modelo de programação linear é uma ferramenta eficiente para auxiliar as decisões tomadas em uma cadeia de suprimentos?
- O modelo proposto pode ser utilizado para auxiliar a tomada de decisão em diferentes situações que ocorrem nas cadeias de suprimentos?

- A eliminação completa, em qualquer situação, dos estoques intermediários e finais realmente contribui para a maximização do lucro dentro de um horizonte planejado?

#### 1.4 - Justificativas do estudo

A cadeia de suprimentos e a sua gestão tornaram-se foco das estratégias das organizações no final do século XX, as quais passaram a vê-las como uma oportunidade para alavancar seu lucro. A literatura apresenta diversos modelos que podem ser utilizados para melhorar o desempenho da cadeia; porém, percebe-se a carência de modelos matemáticos.

Sabe-se a gestão da cadeia de suprimentos abrange diversas decisões que afetam diretamente o resultado global da cadeia.

A programação linear é uma técnica reconhecida pela função de otimização de processos em situações nas quais os recursos são escassos. A evolução de *hardwares* e o desenvolvimento de *softwares* específicos possibilitaram a sua utilização por qualquer pessoa que possua um computador, mesmo para resolução de problemas mais complexos.

Assim, o presente estudo justifica-se devido à proposta de um modelo matemático estruturado nos princípios da programação linear que possui como objetivo auxiliar nas decisões tomadas em uma cadeia de suprimentos, possibilitando a maximização do lucro global da cadeia.

#### 1.5 - Abrangência do estudo

O estudo propõe o uso de um modelo matemático estruturado nos fundamentos de programação linear para auxiliar a tomada de decisão em uma cadeia de suprimentos.

O modelo foi desenvolvido tendo como referência o apresentado por Massote e Nogueira (2007). Neste estudo, tal modelo será aplicado apenas em uma cadeia de suprimentos hipotética. Assim, a validação e a verificação de sua efetividade dar-se-ão através da experimentação em diferentes cenários, não sendo objeto deste estudo, portanto, a aplicação do modelo em uma cadeia de suprimentos real.

As informações e os dados hipotéticos utilizados pelo modelo são oriundos de todos os membros da cadeia de suprimentos. O estudo possui como premissa que já existe um compartilhamento de informações entre os elos da cadeia, e que as informações estão disponíveis para serem utilizadas e analisadas.

Não é foco deste trabalho analisar a maneira como as informações são coletadas e tampouco qual sistema de informação é utilizado pelas empresas. Restringe-se à análise do sistema de apoio à decisão, o qual pode incorporar o modelo proposto e auxiliar no processo de tomada de decisão sobre assuntos relacionados à cadeia de suprimentos.

Outra premissa adotada é a de que as decisões tomadas na gestão da cadeia de suprimentos visam sempre à eficácia global da cadeia. Não se analisará qual organização deverá ser a responsável pelo processamento do modelo proposto e também não se fará uma análise dos relacionamentos entre os integrantes da cadeia, nem sobre a eficácia de cada elo.

## **1.6 - Metodologia**

Os trabalhos científicos geram novos conhecimentos, que levam à criação de novas idéias. Estas produzem novas perguntas a serem respondidas, iniciando-se assim um ciclo responsável pela evolução da ciência. Esses trabalhos caracterizam-se pela necessidade de identificar operações e técnicas que verifiquem se o conhecimento elaborado pode ser considerado científico (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

As operações e técnicas utilizadas para comprovar se o conhecimento é científico ou não são denominadas métodos científicos. Esses métodos, dependendo do estudo em questão, possuem duas abordagens diferentes: a quantitativa ou a qualitativa (GIL, 1999).

Um estudo qualitativo busca compreender o fenômeno estudado em seu ambiente e caracteriza-se pela análise profunda do mesmo. Para essa análise utilizam-se diferentes métodos que envolvem a coleta de dados como: entrevistas, revisão de documentos, discussão em grupo, inspeção da história de vida, entre outros (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

Já um estudo quantitativo caracteriza-se pela elaboração de hipóteses, por seu estudo e tratamento, e pela análise dos dados quantificáveis gerados pelas mesmas. Associa-se geralmente a experimentos, pesquisas fechadas ou estudos que utilizam instrumentos de medição padronizados (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2006).

Segundo Cabel Barbarán (1999), existem diferentes métodos que são utilizados em trabalhos científicos. A escolha de um método varia de acordo com os seguintes aspectos: o escopo e natureza do estudo, os dados utilizados, o controle sobre as variáveis, a contemporaneidade do estudo e as suposições que surgirão na análise.

Berto e Nakano (1998) expõem os principais métodos utilizados em trabalhos científicos, mencionando qual a sua abordagem e o instrumento utilizado no estudo. (Quadro 1)

| Método de pesquisa           | Abordagem principal | Instrumentos                     |
|------------------------------|---------------------|----------------------------------|
| <b>Experimental</b>          | Quantitativo        | Experimentos                     |
| <b>Survey</b>                | Quantitativo        | Questionários                    |
| <b>Estudo de Caso</b>        | Qualitativo         | Entrevistas e outras fontes      |
| <b>Pesquisa participante</b> | Qualitativo         | Observação direta e entrevistas  |
| <b>Pesquisa - Ação</b>       | Qualitativo         | Observação e participação direta |

Quadro 1 - Principais métodos de pesquisa usados em engenharia de produção

Fonte: Berto e Nakano, 1998, p. 4.

Sampieri, Collado e Lucio (2006, p. 157) mencionam que o método experimental remete diretamente a uma abordagem quantitativa. Para os autores, uma pesquisa experimental refere-se a “[...] um estudo em que se manipulam intencionalmente uma ou mais variáveis independentes, para analisar as conseqüências da manipulação sobre uma ou mais variáveis dependentes, dentro de uma situação de controle do pesquisador.”

Miguel (2007) cita que o método *survey* compreende um levantamento de dados através de questionários em uma amostra significativa que consiga representar a realidade estudada. Após o levantamento, os dados são analisados através de técnicas quantitativas para gerar os resultados que servirão como base para as conclusões do estudo.

Yin (2002, p. 32) argumenta que o estudo de caso “[...] é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos”.

Para Miguel (2007) o método do estudo de caso caracteriza-se pela análise profunda de determinado ambiente, com o objetivo de conhecê-lo e compreendê-lo melhor.

O método pesquisa-ação, por sua vez, se distingue pela participação efetiva do pesquisador. Esse método possui dois objetivos centrais: o de solucionar um problema ou uma situação enfrentada e o de contribuir para a ciência (MIGUEL, 2007).

Já o método pesquisa participante também se caracteriza pelo envolvimento direto do pesquisador no ambiente. Porém, diferentemente do que acontece no método pesquisa-ação, os pesquisadores procuram não alterar nenhuma das características do ambiente pesquisado.

Cabel Barbarán (1999) apresenta um roteiro para a escolha do método de pesquisa mais apropriado para um trabalho científico, incluindo três dos cinco métodos citados por Berto e Nakano (1998). (Quadro 2)

| Requisitos da Pesquisa                      | Experimental | Pesquisa-Ação | Estudo de Caso |
|---------------------------------------------|--------------|---------------|----------------|
| Presença do pesquisador na coleta de dados  | Possível     | Comum         | Comum          |
| Tamanho de amostra pequeno                  | Possível     | Comum         | Comum          |
| Variáveis difíceis de quantificar           | Possível     | Possível      | Possível       |
| Medidas perceptíveis                        | Possível     | Possível      | Possível       |
| Fronteiras não pré-definidas                | Incomum      | Possível      | Adequada       |
| Casualidade é central?                      | Adequada     | Possível      | Adequada       |
| Necessidade de responder a pergunta “como?” | Possível     | Possível      | Adequada       |
| Compreensão profunda do processo de decisão | Difícil      | Possível      | Adequada       |
| Participação não ativa do pesquisador       | Possível     | Impossível    | Possível       |
| Ausência de controle sobre as variáveis     | Difícil      | Possível      | Possível       |

Quadro 2 - Roteiro simplificado para a escolha de métodos de pesquisa

Fonte: “Adaptado de” Cabel Barbarán, 1999, p. 67.

A partir dos conceitos apresentados, pode-se classificar o presente estudo como quantitativo, e o método de pesquisa utilizado é, então, o experimental. Uma cadeia de suprimentos será modelada matematicamente e serão criados diferentes cenários, lugar em que diversas variáveis serão manipuladas e o modelo de programação linear proposto será utilizado.

## 1.7 - Organização do estudo

Este estudo é constituído por seis capítulos distintos, organizados conforme descrição que segue:

O capítulo 1 refere-se à introdução do estudo. Apresenta-se a idéia central, juntamente com os objetivos gerais e específicos do trabalho. Também são expostas as perguntas que o estudo busca responder, a justificativa para a escolha do tema, a sua abrangência e a metodologia utilizada.

No capítulo 2 apresenta-se a base conceitual do estudo. Primeiramente faz-se uma revisão teórica sobre cadeia de suprimentos, descrevendo seu conceito e objetivos e expondo a importância do tema no atual cenário de negócios. Discute-se também sobre a gestão da cadeia de suprimentos, a integração de processos, parcerias e o compartilhamento de informações entre organizações. Logo em seguida, faz-se uma revisão sobre a teoria da decisão, mais precisamente sobre as decisões e o processo decisório dentro das organizações, descrevendo as características e os tipos de decisões.

Ainda no capítulo 2, aprofunda-se sobre o conceito de sistema de apoio à decisão, por meio da apresentação de sua evolução histórica, de suas características e dos benefícios que sua utilização pode trazer para uma organização. Finalizando o capítulo, faz-se uma revisão sobre modelagem matemática, pesquisa operacional e programação linear, expondo seus conceitos, suas evoluções históricas e suas características.

O capítulo 3 traz o modelo de programação linear proposto por este estudo, em conjunto com a situação onde ele deve ser aplicado.

No capítulo 4 o modelo proposto é aplicado em uma cadeia de suprimentos hipotética em diferentes cenários. Inicialmente essa cadeia é descrita, expondo suas principais características. Em seguida são apresentados os cenários onde o modelo é experimentado. Por fim são expostos os resultados que seriam obtidos com o uso do modelo em cada cenário.

No capítulo 5 apresentam-se as análises feitas a partir dos resultados de cada cenário, ocasião em que são discutidos os lucros obtidos, as demandas atendidas, o nível de estoque e as capacidades utilizadas por cada organização durante os períodos simulados. Também são feitas comparações entre os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto e com a utilização de outro modelo de gestão.

O capítulo 6 contém as conclusões do estudo, juntamente com sugestões para futuras pesquisas. Ao final estão as referências bibliográficas.



## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Este capítulo expõe os principais conceitos necessários para o desenvolvimento do estudo. Para tanto, faz-se importante uma revisão dos conceitos presentes na literatura quanto a: cadeia de suprimentos, tomada de decisão, sistemas de apoio à decisão e otimização.

### **2.1 - Cadeia de suprimentos**

Uma cadeia de suprimentos (CS) consiste nas atividades associadas à modificação e movimentação de qualquer bem desde o estágio inicial, quando a matéria-prima é adquirida, até o último estágio, em que ocorre a entrega do produto acabado para o consumidor (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Entende-se, então, que uma CS é composta por diversas entidades como: fabricantes, fornecedores, transportadoras e distribuidoras, depósitos e estoques, varejistas e os próprios clientes. Assim, ela abrange todos os estágios que envolvem os processos de transformação de idéias e matérias-primas em serviços e produtos acabados, englobando o fluxo de informação e o fluxo de produção de produtos e serviços (SHAPIRO, 2001; RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004; CHOPRA; MEINDL, 2003).

O atual ambiente de negócios vivenciado pelas organizações é complexo, caracterizado pelo aumento da competitividade e do nível de exigência do consumidor por serviços e qualidade.

Diante deste cenário as organizações tiveram que se tornar mais ágeis. Elas passaram a projetar seus sistemas, procedimentos e estratégias para aumentar sua eficiência total, e assim atender completamente às necessidades dos clientes, os quais se tornaram o centro do negócio (CHRISTOPHER, 1999; PRADELLA; SILVA, 2005).

Segundo Parra e Pires (2003), o atual nível de competitividade impõe ao mercado e às organizações novos padrões de custo, de qualidade, de desempenho e de flexibilidade, criando assim novos desafios a serem enfrentados pelas organizações, além de oportunidades para obterem vantagens competitivas.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003, p. 27) mencionam que “[...] a intensa competição nos mercados globais, a introdução de produtos com ciclos de vida reduzidos e a

grande expectativa dos clientes forçaram as empresas a investir e focar sua atenção na cadeia de suprimentos”.

Carneiro e Araújo (2003) citam que somente a eficiência interna não é suficiente para enfrentar as condições impostas pelo mercado, é também necessário elevar a eficiência de todos os participantes e de todos os processos ocorridos na cadeia de suprimentos.

Lambert, Cooper e Pagh (1998) mencionam que uma das maiores mudanças no paradigma de negócios atual é que as organizações não competem mais individualmente, mas sim entre cadeias de suprimentos. Assim, a CS e sua gestão se tornaram parte essencial para os negócios das organizações.

Lummus e Vorduka (1999) apresentam três motivos para o aumento de interesse na cadeia de suprimentos e em sua gestão: a desverticalização das organizações - que estão mais especializadas procurando fornecedores externos que possam supri-las com produtos e matérias-primas necessários -, o aumento da competitividade e a conscientização de que para se maximizar a lucratividade é necessário um melhor desempenho da cadeia de suprimentos como um todo.

Na literatura, o assunto cadeia de suprimentos é amplamente discutido, sendo possível encontrar diversas definições, as quais não diferem em sua essência da definição apresentada.

Lambert, Stock e Ellram (1998) mencionam que uma cadeia de suprimentos é um alinhamento de organizações que levam produtos e serviços ao mercado.

Para Lambert, Cooper e Pagh (1998), a CS não deve ser vista como uma cadeia de negócios e relacionamentos individuais, mas como uma rede de negócios e relacionamentos múltiplos.

Mentzer et al. (2001) e Lambert, García-Daguste e Croxton (2008) definem cadeia de suprimentos como uma rede de organizações diretamente envolvidas no fluxo de produtos, de serviços, financeiro e de informações desde a fonte inicial até o consumidor final.

Por fim, de acordo com Christopher (1999, p. 13), “[...] a cadeia de suprimentos representa uma rede de organizações, através de ligações nos dois sentidos, dos diferentes processos e atividades que produzem valor na forma de produtos e serviços que são colocados nas mãos do consumidor final”.

Ainda na extensa literatura sobre o tema é possível encontrar divergências na utilização do termo cadeia quando relacionado à cadeia de suprimentos. Diversos autores preferem a utilização do termo rede de suprimentos devido à complexidade da mesma.

Pires (2007) menciona que o termo rede de suprimentos é utilizado por diversos autores, principalmente britânicos, para quem uma CS possui uma rede de trabalhos com múltiplas operações e relacionamentos.

Slack, Johnston e Chambers (2002) ponderam que as operações fazem parte de uma rede maior ligada à outras operações, assim uma rede de suprimentos inclui não somente os fornecedores e os clientes, mas também os fornecedores e os clientes dos mesmos.

Lamming et al. (2000) também apontam o termo rede de suprimentos como o mais apropriado para dimensionar os relacionamentos e as operações relacionadas aos suprimentos de uma organização. Segundo os autores, o termo cadeia é simplista e linear, diferentemente de rede, que considera uma sequência não linear dos processos, com ligações laterais e com atividades sem ordem totalmente definida.

Contudo, ainda segundo Lamming et al. (2000), o termo cadeia de suprimentos é utilizado pelas organizações e pelos acadêmicos em casos relacionados aos suprimentos das organizações mesmo quando estes se referem a um processo com uma rede de organizações envolvidas.

A figura 1, a seguir, apresenta a estrutura típica de uma cadeia de suprimentos. É possível perceber que a mesma é composta por cinco elos distintos, dentre os quais estão: fornecedores, os quais podem suprir as indústrias com diferentes tipos de peças ou matérias-primas; fabricantes, que transformam as matérias-primas em produtos acabados; depósitos e centros de distribuição, onde os produtos acabados são armazenados; varejistas e consumidores finais.

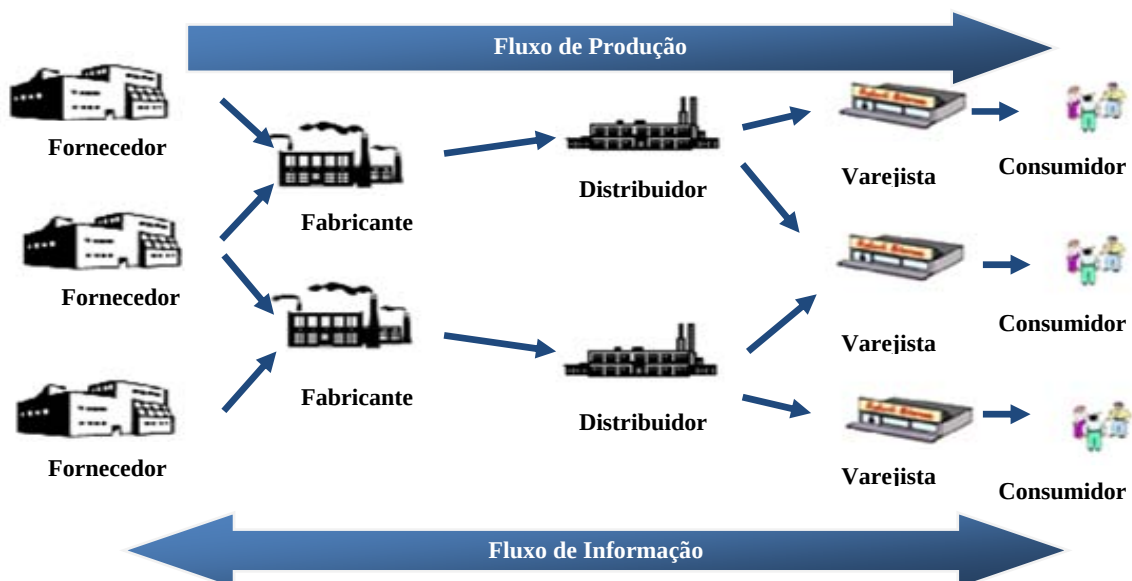


Figura 1 - Exemplo de uma cadeia de suprimentos

Fonte: "Adaptado de" Chopra e Meindl, 2003, p. 5.

A estrutura apresentada na figura 1 é apenas uma ilustração. Uma cadeia de suprimentos pode variar de empresa para empresa, de acordo com as estratégias e as características da mesma e do mercado no qual ela está inserida (CHOPRA; MEINDL, 2003).

Mentzer et al. (2001) identificam três níveis de complexidade que uma cadeia de suprimentos pode possuir. Utilizando esses níveis os autores as classificam em: direta (*direct supply chain*), estendida (*extended supply chain*) ou final (*ultimate supply chain*). (Figura 2)

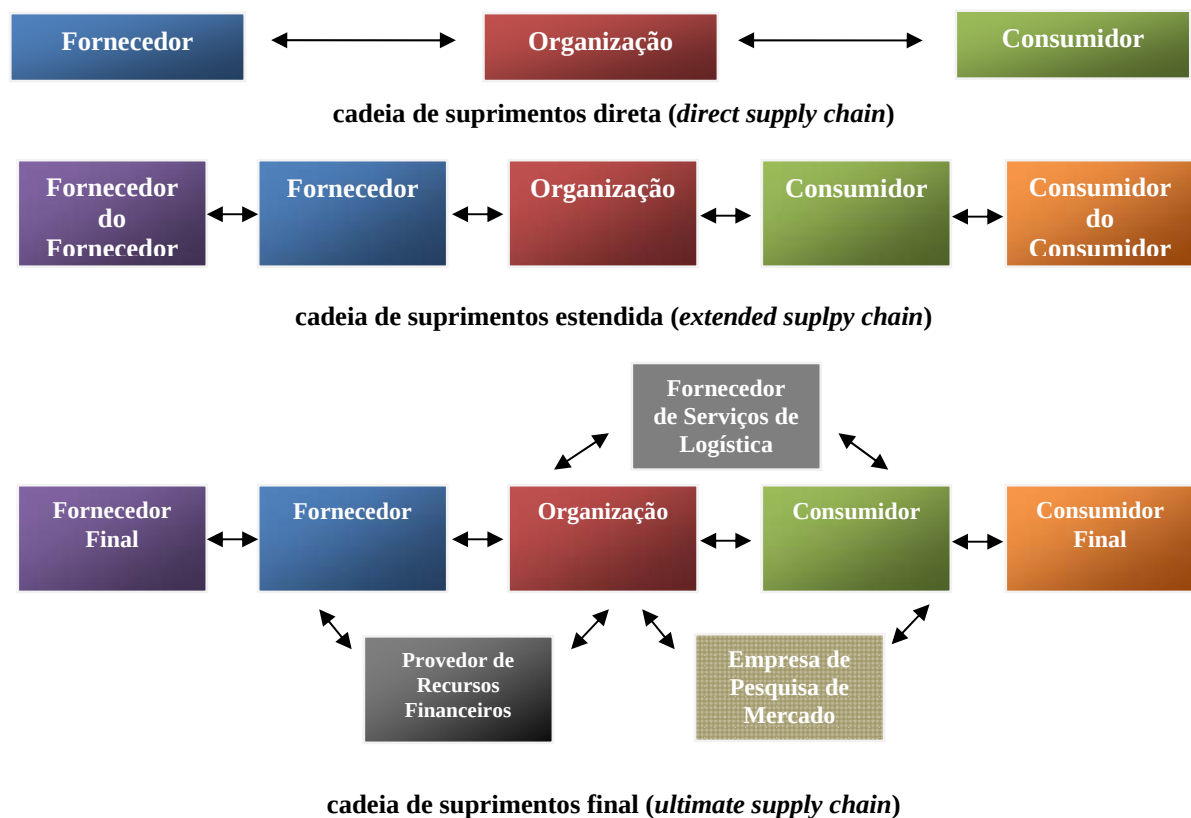


Figura 2 - Níveis de complexidade de uma cadeia de suprimentos

Fonte: "Adaptado de" Mentzer et al., 2001, p. 5.

Mentzer et al. (2001) mencionam ainda que devido às diversas configurações que uma cadeia de suprimentos pode possuir, uma organização não está restrita a pertencer somente a uma cadeia.

Chopra e Meindl (2003) argumentam que o objetivo principal de qualquer cadeia de suprimentos é maximizar o valor gerado, mensurado pela diferença entre o valor do produto acabado, segundo o cliente, e os esforços realizados para produzir este produto.

O conceito de valor pode variar de acordo com a CS. Em grande parte das cadeias de suprimentos o valor está ligado à lucratividade. Nesses casos, o objetivo principal da cadeia é

maximizar o lucro de todas as organizações envolvidas no processo de produção e entrega do produto para o cliente (CHOPRA; MEINDL, 2003; MANUJ; MENTZER, 2008).

Para alcançar este objetivo existe a necessidade de melhorar a *performance* geral da cadeia de suprimentos, maximizando suas receitas e minimizando seus custos. De acordo com Chopra e Meindl (2003), os clientes são a única fonte de receita de uma cadeia.

Os custos, por sua vez, estão relacionados com os fluxos de produção e informação. Borade e Bansod (2007) mencionam que uma CS envolve diversos custos, como: produção, transporte, estocagem, transmissão de informação, entre outros.

Para minimizar esses custos faz-se necessária uma gestão eficaz dos fluxos de produção e informação. Neste contexto, a gestão da cadeia de suprimentos ganha importância, pois engloba o gerenciamento desses fluxos (CHOPRA; MEINDL, 2003).

### 2.1.1 - Gestão da cadeia de suprimentos

A gestão da cadeia de suprimentos (GCS) tornou-se um tópico popular em meados da década de 90, quando as organizações passaram a vê-la como uma maneira de se obter vantagem competitiva sobre suas concorrentes (PIRES, 2007; BUOSI; CARPINETTI, 2002).

Para Alves Filho et al. (2004) neste período as organizações começaram a canalizar esforços na gestão da cadeia de suprimentos, centralizando-os principalmente no gerenciamento dos relacionamentos com organizações pertencentes à cadeia.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003) explicam que durante a década de 80 diversas estratégias, técnicas e métodos para a redução de custos como o *just-in-time*, o gerenciamento da qualidade total (*total quality management*) e a produção enxuta (*lean production*) foram analisadas e implementadas pelas empresas. Porém, com o passar do tempo, somente a otimização dos processos internos não era mais suficiente para aumentar a lucratividade das organizações.

Nesse momento a gestão da cadeia de suprimentos tornou-se um dos principais focos para as organizações aumentarem sua lucratividade e participação de mercado. Houve então uma mudança no paradigma de negócios, a competição passou a ocorrer entre as cadeias de suprimentos e não somente entre elos ou empresas isoladas (LAMBERT, COOPER, 2000; GOMES; RIBEIRO, 2004; ALVES FILHO et al., 2004).

Apesar da crescente representatividade do tema, o conceito de gestão de cadeias de suprimentos e sua origem são assuntos que apresentam divergências na literatura (COSTA; RODRIGUES; LADEIRA, 2005).

O surgimento da GCS não é representado por nenhum marco. Sua origem está ligada ao renascimento da logística na década de 1950, sendo que as mesmas tendências impulsionaram a evolução da logística e o nascimento da gestão da cadeia de suprimentos (COSTA; RODRIGUES; LADEIRA, 2005).

Sabe-se que a origem do termo deu-se no início da década de 1980, mais precisamente em 1982, quando Oliver e Weber introduziram o termo no artigo *Supply Chain Management: logistics catches up with strategy* para denominar um conceito que derrubava as fronteiras entre as áreas de produção, *marketing* e distribuição (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000; COSTA; RODRIGUES; LADEIRA, 2005; BORADE; BANSOD, 2007; RUSSEL, 2007).

Em 1985, John Houlihan publicou no artigo *International Supply Chain Management* um conceito que ia além do apresentado por Oliver e Weber, abrangendo assuntos como a eficiência e os benefícios alcançados através do compartilhamento de informação dentro dos elos de uma cadeia de suprimentos (RUSSEL, 2007).

Mentzer et al. (2001) mencionam que existe certa confusão sobre o significado do termo gestão da cadeia de suprimentos, tanto na área acadêmica quanto nas organizações, lugar em que é muitas vezes confundida com a logística.

Bowersox, Closs e Cooper (2006) citam que a logística é um subconjunto de uma cadeia de suprimentos. De acordo com o *Council of Supply Chain Management Professionals* (CSCMP)<sup>1</sup> logística é:

[...] a parte dos processos da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o efetivo fluxo e a estocagem de bens, serviços e informações correlatas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender as necessidades dos clientes.

---

<sup>1</sup> Associação que reúne mais de 8500 profissionais e acadêmicos envolvidos nas atividades de logística e gestão da cadeia de suprimentos. O CSCMP foi fundado em 1963 com o nome de *National Council of Physical Distribution Management* (NCPDM). Em 1985, reconhecendo o crescimento da logística, a associação alterou seu nome para *Council of Logistics Management* (CLM). Finalmente, em 2004, o conselho executivo da CLM, verificando as novas tendências do mundo dos negócios e o crescimento do conceito de gestão da cadeia de suprimentos, aprovou a mudança do nome para *Council of Supply Chain Management Professionals*. Mudança efetivada no ano de 2005.

Russel (2007) pondera que diversos autores assumem a gestão da cadeia de suprimentos como uma nova nomenclatura para logística integrada. Porém, segundo o autor, a GCS envolve as atividades relacionadas à cadeia de suprimentos, que vão além da logística.

Essas atividades abordam operações de produção e de transporte, relacionam-se com os departamentos de *marketing*, compras e finanças, e envolvem conceitos como: o desenvolvimento de produtos em conjunto com fornecedores e o compartilhamento de informação e de risco (RUSSEL, 2007).

Novaes (2001) menciona quatro aspectos que diferenciam a gestão da cadeia de suprimentos e a logística integrada:

- a. Ênfase na satisfação do consumidor final;
- b. Formação de parcerias com elos pertencentes à cadeia de suprimentos;
- c. Abertura entre parceiros, propiciando o compartilhamento de informações operacionais e estratégicas;
- d. Aplicação de esforços de forma sistemática, com o objetivo de agregar máximo valor ao cliente e eliminar os desperdícios, reduzindo custos e aumentando a eficiência.

A figura 3, a seguir, ilustra os conceitos de gestão de cadeias de suprimentos, mostrando a evolução e a incorporação dos conceitos de logística e de logística enxuta.



Figura 3 - Transição da Logística Clássica para a Gestão da Cadeia de Suprimentos

Fonte: “Adaptado de” Russel, 2007, p.61.

Na figura 3 é possível perceber que a denominada logística clássica tinha como principal ênfase as compras, a estocagem e a distribuição, seguindo o princípio de produzir para o cliente certo na condição correta, distribuindo a quantidade adequada, para a localização exata, no melhor tempo e com os menores custos (RUSSEL, 2007).

A logística enxuta ia além da clássica. Conceitos e técnicas como a produção enxuta e o *just-in-time*, que otimizavam os processos internos, começaram a ser utilizados. Nessa fase as informações ganharam importância, assim os grandes estoques foram minimizados através da utilização mais adequada da informação (RUSSEL, 2007).

Por fim, a gestão da cadeia de suprimentos incorpora os conceitos anteriores, com os de: integração dos processos-chave de negócios, parcerias e compartilhamento de informações (RUSSEL, 2007).

De acordo com Pires (2007), a gestão da cadeia de suprimentos é multifuncional, abrangendo interesses de diferentes áreas do ambiente organizacional. Assim ela possui mais de uma origem, não sendo somente uma evolução da logística.

A figura 4, na sequência, ilustra tal idéia, mostrando a GCS como um ponto de convergência de áreas tradicionais de uma organização.

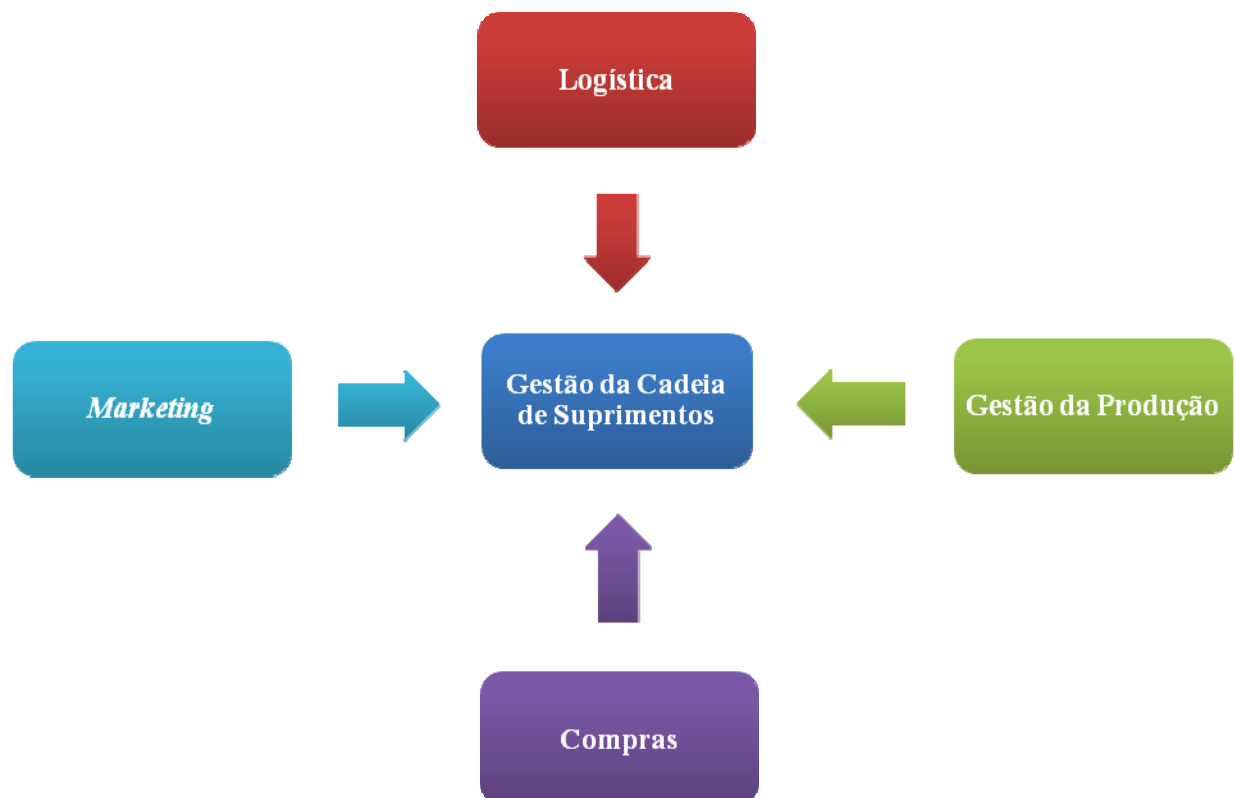


Figura 4 - Potenciais origens da Gestão da Cadeia de Suprimentos

Fonte: Pires, 2007, p.62.



Observando-se a figura 4, apresentada por Pires (2007), percebe-se que a gestão da cadeia de suprimentos pode ser vista como uma expansão de quatro áreas distintas. O autor cita que uma das origens GCS foi a expansão da gestão da produção para além das fronteiras da organização. Nos dias de hoje, as maiores oportunidades a serem exploradas pelas empresas encontram-se além dos seus limites, o que torna essencial administrar os processos e as relações entre os elos da cadeia de suprimentos.

A expansão da área de compras também pode ser considerada como uma das origens da GCS. Nos últimos anos, o crescimento dessa área, juntamente com questões como parcerias e alianças estratégicas, comércio eletrônico e abastecimento sob lógica global fizeram com que os procedimentos tradicionalmente utilizados pelos profissionais dessa área fossem revistos (PIRES, 2007).

A terceira origem citada por Pires (2007) é a expansão da área de *marketing*. Funções de identificação das necessidades do mercado e de previsão da demanda para essas necessidades foram incorporadas pela GCS com o objetivo de aumentar sua eficiência, através da interação com os demais integrantes da cadeia de suprimentos.

Por fim, Pires (2007) cita a expansão da logística como uma das possíveis origens da gestão da cadeia de suprimentos. Diante dos novos paradigmas advindos da globalização, a abrangência logística tornou-se ineficaz para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades, sendo necessário explorar a GCS para realizar os processos logísticos mais eficientemente e melhor aproveitar essas oportunidades.

A literatura apresenta diversas definições para a gestão da cadeia de suprimentos. Dentre elas a de Mentzer et al. (2001, p. 18), segundo a qual a gestão da cadeia de suprimentos é:

[...] a coordenação sistêmica e estratégia das tradicionais funções de negócios dentro de uma particular empresa e ao longo da cadeia de suprimentos, com o propósito de melhorar o desempenho no longo prazo das empresas individualmente e da cadeia de suprimentos como um todo.

Segundo Bowersox, Closs e Cooper (2007, p. 4), “[...] a gestão da cadeia de suprimentos consiste na elaboração entre empresas para impulsionar o posicionamento estratégico e para melhorar a eficiência operacional.”

Lambert e Cooper (2000, pág. 66), Croxton et al. (2001, pág. 13) e Lambert (2004, pág. 18) utilizam a definição apresentada pelo *Global Supply Chain Forum* (GSCF)<sup>2</sup>, segundo a qual a gestão da cadeia de suprimentos é:

[...] a integração dos processos-chave de negócios desde o usuário final até os fornecedores originais que providenciam produtos, serviços e informações que adicionam valor para os clientes e acionistas.

Ainda segundo os autores, os membros do GSCF identificaram oito processos-chave que devem ser integrados para melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos. Esses processos são:

- a. Gestão do relacionamento com os clientes: processo que estabelece como os relacionamentos com consumidores são desenvolvidos e mantidos. Envolve desde a identificação dos clientes que a empresa considera como essenciais para atingir os seus objetivos até o desenvolvimento de acordos de produtos e serviços para suprir as necessidades desses clientes. Possui como objetivo aumentar a satisfação e a lealdade dos consumidores e, assim, aumentar a lucratividade da cadeia;
- b. Gestão do serviço ao cliente: processo que fornece aos clientes informações em tempo real sobre a disponibilidade de produtos, o *status* do pedido e a disponibilidade de entrega;
- c. Gestão de demanda: processo que envolve diretamente a previsão da demanda e os processos de produção, compras e distribuição necessários para atendê-la. De acordo com os autores, este processo tem como objetivo equilibrar os requisitos dos clientes com as capacidades da cadeia de suprimentos;
- d. Atendimento de pedidos: processo diretamente responsável pelo atendimento preciso dos pedidos dos clientes. Tem como objetivo atender as necessidades dos consumidores e ao mesmo tempo reduzir o custo de entrega do produto ou serviço. A sua eficácia envolve a integração das áreas de produção, logística e *marketing* das empresas;

---

<sup>2</sup> Grupo formado por empresas e acadêmicos, que se reúnem desde 1992, com o objetivo de melhorar a teoria e a prática da gestão da cadeia de suprimentos.

- e. Gestão do fluxo de produção: processo que engloba todas as atividades necessárias para se obter e gerenciar uma flexibilidade de manufatura ao longo da cadeia de suprimentos. Essa flexibilidade é essencial para atender as mudanças de mercado;
- f. Gestão do relacionamento com fornecedores: processo semelhante ao da gestão do relacionamento com os clientes, porém, com os fornecedores. Neste processo, estabelece-se a maneira como os relacionamentos com os fornecedores devem ser desenvolvidos e gerenciados;
- g. Desenvolvimento e comercialização de produtos: processo que estabelece uma estrutura para trabalhar com clientes e fornecedores a fim de desenvolver e introduzir produtos no mercado de maneira eficaz;
- h. Gestão de retorno: processo que envolve todas as atividades de retorno gerenciadas dentro da empresa e dos outros membros da cadeia de suprimentos. Um gerenciamento eficaz desse processo pode expor às empresas oportunidades para melhorar a produtividade da cadeia.

A figura 5, a seguir, ilustra a definição de gestão de cadeia de suprimentos apresentada pelo GSCF. Na figura observa-se uma estrutura de cadeia de suprimentos simplificada, os fluxos de informação e de produção e os oito processos-chave a serem integrados entre as empresas pertencentes à cadeia de suprimentos.

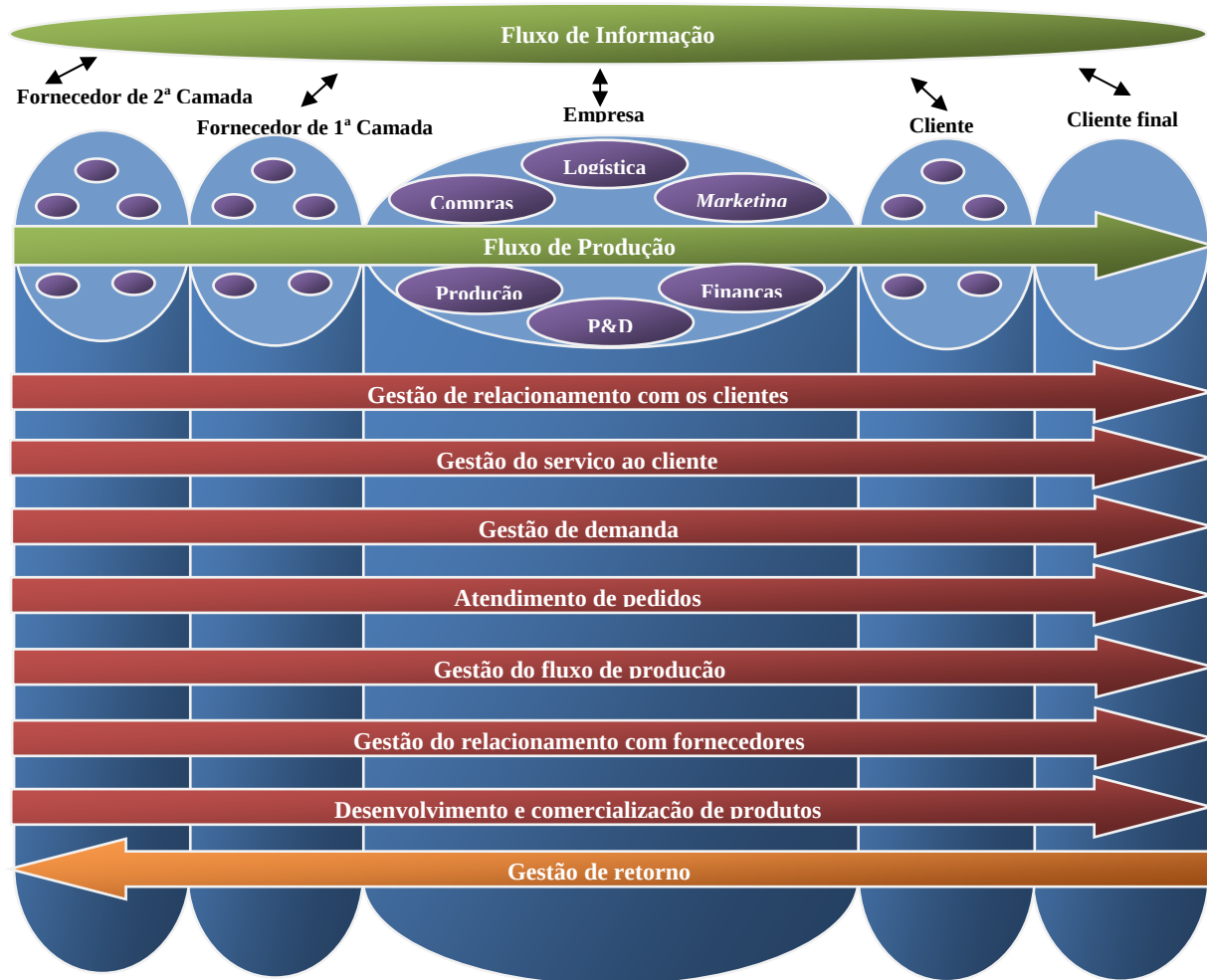


Figura 5 - Integrando os processos-chave de negócios ao longo da cadeia de suprimentos.

Fonte: “Adaptado de” Croxton et al., 2001, p. 14.

Segundo Hilsdorf, Rotondaro e Pires (2009, p. 233), integrar esses oito processos ao longo da cadeia “[...] é tarefa primordial para a melhoria de seu desempenho e fornecimento de produtos e serviços de maior valor agregado aos clientes.”

Russel (2007) endossa as definições de gestão de cadeia de suprimentos apresentadas. Segundo o autor, GCS são alianças estratégicas com parceiros da cadeia de suprimentos, processos enxutos com custos minimizados e a integração de processos-chave de negócio, como o desenvolvimento de produtos, o gerenciamento da demanda, o planejamento e gerenciamento da produção, entre outros.

Chopra e Meindl (2003) afirmam que o objetivo da gestão da cadeia de suprimentos é maximizar a lucratividade da cadeia através do gerenciamento de todas as informações, produtos e recursos financeiros entre e através dos estágios da cadeia de suprimentos.

Para Gomes e Ribeiro (2004), por meio da gestão da cadeia de suprimentos objetiva-se:

- Maximizar as potenciais sinergias entre os elos da cadeia, de maneira a atender o consumidor final mais eficientemente, tanto pela redução dos custos como pela adição de valor aos produtos finais;
- Reduzir custos com a diminuição do volume de transação de informações e de papéis e de transporte e estocagem;
- Reduzir estoques e diminuir o número de fornecedores;
- Diminuir a variação de demanda de produtos e serviços;
- Adicionar valor aos produtos através da customização de bens e serviços e do desenvolvimento em conjunto de competências distintas para aumentar a lucratividade de fornecedores e clientes.

#### 2.1.2 - Integração de processos na cadeia de suprimentos

O novo contexto organizacional exige das empresas mudanças significativas. Os princípios e os paradigmas tradicionais que as orientavam devem ser questionados (CHRISTOPHER, 1999).

Christopher (1999) menciona que esse novo mercado exige das empresas mudanças rápidas, que não podem ser conseguidas através das estruturas organizacionais tradicionais, caracterizadas pela sua rigidez. De acordo com o autor, nessa situação é necessária uma mudança do enfoque funcional para o enfoque de processos.

Hilsdorf (2007) cita que a geração de um produto ou serviço é realizada através de uma sequência de processos interligados. No âmbito da cadeia de suprimentos esses processos ocorrem entre as empresas, assim se elas estiverem focadas somente em seus processos internos, a integração da cadeia será prejudicada.

A integração é um assunto que vem recebendo grande atenção desde a década de 1990. Principalmente a integração externa com os parceiros de negócios, a qual apresenta diversas oportunidades a serem exploradas pelas empresas. Em uma cadeia de suprimentos, a

integração dos processos entre os membros da cadeia é importante para melhorar o desempenho da mesma (BOWERSOX; CLOSS, 2001).

Russel (2007) cita a integração de processos como o componente da gestão da cadeia de suprimentos que torna a cadeia operacional. Segundo o autor, é necessário integrar processos-chave entre as empresas.

Costa, Rodrigues e Ladeira (2005) endossam dizendo que a integração na cadeia concentra-se em alinhar os processos-chave do negócio, sendo que uma forte integração favorece um relacionamento de longo prazo, além de encorajar um planejamento e esforço conjunto na solução de problemas.

Lambert, Cooper e Pagh (1998) mencionam que o objetivo da gestão da cadeia de suprimentos é maximizar a lucratividade e a competitividade de uma empresa e de toda a cadeia na qual está inserida. A integração de processos da CS ajuda no alcance do objetivo, pois tem a finalidade de alavancar a eficácia e a eficiência da cadeia.

Apesar de ser um fator essencial para aumentar o desempenho da cadeia de suprimentos, a integração não pode ser feita em todos os processos de negócios. As empresas normalmente possuem recursos escassos, assim torna-se crucial analisar qual processo necessita ser integrado para se obter melhor retorno (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000).

Lambert e Cooper (2000) afirmam que estudos anteriores sobre integração da cadeia de suprimentos sugeriam que todos os processos de negócios deveriam ser integrados. Porém, em seu estudo, as organizações pesquisadas pelos autores integravam apenas alguns processos-chave de negócios.

Lambert, Cooper e Pagh (1998) e Lambert e Cooper (2000) apresentam um modelo de gestão da cadeia de suprimentos que possui três elementos interligados: a estrutura da cadeia de suprimentos, os processos de negócios e os componentes gerenciais.

O primeiro elemento, estrutura da cadeia de suprimentos, consiste nos membros da CS e nas ligações entre os mesmos. Já os processos de negócios, segundo elemento, tratam de quais processos devem ser integrados e gerenciados ao longo da cadeia (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000).

O último elemento mencionando pelos autores diz respeito aos componentes gerenciais. Esses são variáveis manuseáveis pelas quais os processos de negócios são integrados e gerenciados ao longo da cadeia de suprimentos. Assim, o nível de integração de um processo de negócio variará de acordo com o número e o nível de componentes envolvidos (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000)

Lambert, Cooper e Pagh (1998) ponderam que o modelo parte da premissa de que existem componentes gerenciais em comum ao longo da cadeia de suprimentos e dos processos de negócios ocorridos nela.

Lambert e Cooper (2000) e Lambert, Cooper e Pagh (1998) identificaram nove componentes, que são os seguintes: métodos de planejamento e controle; estrutura de trabalho; estrutura organizacional; estrutura do fluxo de informação; estrutura do fluxo de produtos; métodos de gestão; estrutura de poder e liderança; estrutura de risco e recompensas e cultura.

Esses nove componentes podem ser divididos em dois grupos distintos, sendo que o primeiro é composto pelos componentes técnicos e físicos - que são mais visíveis e tangíveis, de simples mensuração e que podem ser mudados mais facilmente - e o segundo é composto pelos componentes gerenciais e comportamentais - de difícil mensuração e que influenciam diretamente o comportamento interno da empresa e o seu comportamento em relação às outras empresas da cadeia (LAMBERT; COOPER, 2000; LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998). (Figura 6)



Figura 6 - Componentes gerenciais.

Fonte: "Adaptado de" Lambert, Cooper e Pagh, 1998, p. 12.

A importância da integração dos processos de negócios ocorridos ao longo da cadeia de suprimentos não pode ser negada, ainda que seja uma tarefa difícil de ser alcançada. Hilsdorf (2007) menciona que a integração entre os participantes torna-se difícil devido às

diferenças entre as organizações, que podem ser tecnológicas, culturais, de maneiras de gestão, entre outras.

### 2.1.3 - Parcerias entre empresas da cadeia de suprimentos

A administração dos relacionamentos com as outras organizações pertencentes à cadeia de suprimentos tornou-se um assunto particularmente importante na gestão de uma empresa.

A ênfase nos relacionamentos entre organizações justifica-se devido a diversos fatores que estão alterando o mundo de negócios, dentre os quais é possível citar: a globalização dos mercados, o aumento da expectativa dos consumidores e a intensificação da competição. Estes fatores estão exigindo mudanças organizacionais, forçando as empresas a reverem seus paradigmas tradicionais (HUMPHRIES; WILDING, 2001).

As organizações, diante de tal cenário, intensificaram sua orientação para os relacionamentos com outras organizações, desenvolvendo parcerias e alianças estratégicas com o objetivo de se adaptar às ameaças e às oportunidades do novo ambiente econômico.

Lambert, Emmelhainz e Gardner (1996) identificaram seis tipos de relacionamentos distintos entre as organizações, passando desde o relacionamento comercial até a integração vertical. (Figura 7)

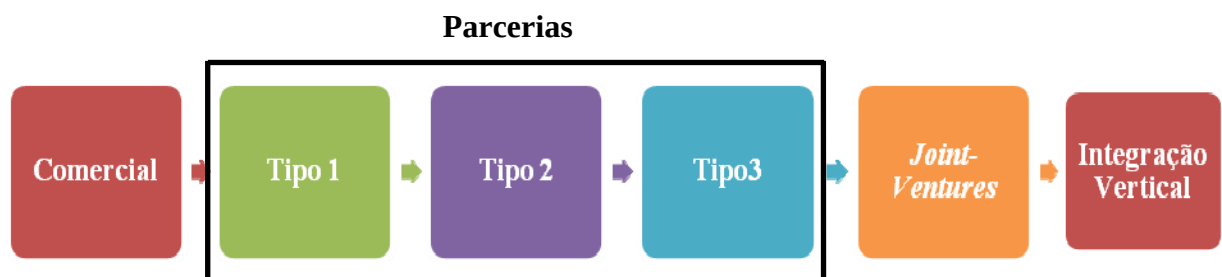


Figura 7 - Tipos de relacionamentos

Fonte: “Adaptado de” Lambert, Emmelhainz e Gardner, 1996, p. 02.



Na figura 7 observa-se que dentre os seis tipos de relacionamentos, os autores enfatizam as parcerias, dividindo-as em três tipos distintos de acordo com o seu grau de integração.

A parceria tipo 1 envolve organizações que se reconhecem como parceiras, coordenando atividades em conjunto. Esse tipo de parceria é de curto prazo e envolve uma divisão ou área funcional dos parceiros.

As parcerias do tipo 2 são orientadas à integração de atividades, possuem uma longa duração e envolvem diversas divisões e funções dos parceiros. Por fim, nas parcerias do tipo 3, as organizações enxergam-se com uma extensão da outra, dividindo um nível significativo de operações integradas.

Lambert, Knemeyer e Gardner (2004) e Mentzer, Min e Zacharia (2000) afirmam que as parcerias são um fator importante em uma gestão da cadeia de suprimentos, uma vez que essa gestão também consiste na administração dos relacionamentos entre os elos da cadeia. Assim, entender como estabelecer e manter parceiras entre organizações é fundamental para o sucesso da gestão.

O conceito de parceria é amplamente abordado na literatura, enfatizando a importância do tema. Costa, Rodrigues e Ladeira (2005) entendem como parceria um relacionamento baseado na confiança e no compartilhamento de riscos e recompensas, com o objetivo de gerar um desempenho superior ao alcançado individualmente.

Lambert, Emmelhainz e Gardner (1996) e Lambert, Knemeyer e Gardner (2004) definem parceria como uma relação de negócios customizada entre empresas que busca obter uma *performance* de negócio melhor do que a que pode ser conseguida pelas empresas quando trabalham individualmente ou em conjunto sem uma relação de parceria. Essa relação caracteriza-se pela confiança mútua e pelo compartilhamento de riscos e recompensas.

Para Humphries e Wilding (2001), relacionamentos de negócios como parcerias representam uma abordagem holística para gerenciar a cadeia de suprimentos. Abordagem que envolve tecnologia, processos e informação, e possui como objetivo assegurar melhores retornos financeiros para todos os membros da cadeia.

Mchugh, Humphreys e Mclvor (2003) destacam que existem aspectos em comum na maioria das definições encontradas sobre parcerias do tipo cliente-fornecedor. Para os autores, as parcerias baseiam-se em relacionamentos de longo prazo estruturados na confiança mútua e em cooperação entre os parceiros.

Slack, Johnston e Chambers (2002) analisam que o grau de proximidade entre os parceiros é uma das questões-chave no conceito de parceria. Para os autores, a proximidade está diretamente relacionada com nove fatores, quais sejam:

- a. Compartilhamento de sucesso: os parceiros trabalham em conjunto para maximizar o lucro coletivo e não o individual;
- b. Expectativas de longo prazo: parcerias implicam relacionamentos longos, que podem ser permanentes ou não;
- c. Múltiplos pontos de contato: a comunicação entre os parceiros deve ser feita de diversas maneiras;
- d. Aprendizagem conjunta: as organizações devem estar comprometidas em aprender com a experiência dos parceiros sobre as operações;
- e. Poucos relacionamentos: deve existir uma limitação no número de fornecedores e consumidores dentro da cadeia, devido à complexidade de gestão de diversos relacionamentos simultâneos;
- f. Coordenação conjunta das atividades: deve-se coordenar conjuntamente todas as atividades;
- g. Transparência de informações: deve existir uma troca de informações mútua, construindo assim uma determinada confiança;
- h. Resolução conjunta de problemas: a resolução conjunta de problemas pode estreitar os relacionamentos;
- i. Confiança: principal elemento da parceria, significa disposição de relacionar-se com a visão de que este relacionamento será benéfico para todas as partes envolvidas.

Slack, Johnston e Chambers (2002) ainda consideram que, através da parceria, as empresas esperam alcançar benefícios e resultados superiores aos alcançados quando trabalhavam separadamente, afinal, existe a expectativa que as organizações parceiras colaborem entre si, através do compartilhamento de recursos e habilidade.

Lambert, Knemeyer e Gardner (2004) mencionam que, no atual ambiente de negócios, a habilidade de construir e manter uma parceria de maneira eficaz e eficiente é essencial para que as empresas conquistem vantagem competitiva, sendo que essa vantagem é similar àquelas alcançadas em uma integração vertical ou em uma *joint-venture*, porém, sem precisar do mesmo volume de investimentos (LAMBERT; EMMELAHINZ; GARDNER, 1996).

Apesar dos benefícios que uma parceria pode trazer para a empresa, o seu desenvolvimento pelos membros da cadeia de suprimentos é complexo, necessitando de uma grande quantidade de tempo e esforço por parte das empresas envolvidas (LAMBERT; EMMELHAINZ; GARDNER, 1996).

Lambert, Emmelhainz e Gardner (1996) apresentam um modelo para o desenvolvimento de parcerias baseando-se em três elementos principais: os elementos motivadores para formar a parceria, os elementos facilitadores - que são as características das empresas que dão suporte no desenvolvimento da parceria- e os componentes - que são processos e atividades estabelecidos e controlados durante a parceria.

Kanter (1994), por sua vez, salienta que as parcerias bem sucedidas tendem a respeitar oito critérios diferentes. (Quadro 3)

| Critérios                    | Características                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Excelência individual</b> | Os parceiros possuem algo que possa contribuir com o outro. Procuram as parcerias para aproveitar oportunidades futuras.                                                                                   |
| <b>Importância</b>           | O relacionamento desempenha papel fundamental nos objetivos dos parceiros, tornando-os indispensáveis.                                                                                                     |
| <b>Interdependência</b>      | Os parceiros necessitam de colaboração mútua.                                                                                                                                                              |
| <b>Investimentos</b>         | Parceiros investem uns nos outros, mostrando sinais tangíveis do comprometimento entre eles.                                                                                                               |
| <b>Informação</b>            | Parceiros compartilham informações, incluindo objetivos e metas, dados técnicos, entre outros necessários para a parceria funcionar.                                                                       |
| <b>Integração</b>            | Os parceiros desenvolvem ligações e formas de operar, de maneira que possam trabalhar juntos de maneira mais fácil.                                                                                        |
| <b>Institucionalização</b>   | Responsabilidades e processos claros e formais.                                                                                                                                                            |
| <b>Integridade</b>           | Os parceiros possuem comportamentos éticos perante outros, não se vangloriando de informações obtidas, nem subestimando os demais parceiros. Estes comportamentos justificam e aumentam a confiança mútua. |

Quadro 3 - Critérios para o sucesso das parcerias

Fonte: “Adaptado de” Kanter, 1994, p. 100.

#### 2.1.4 - Compartilhamento de informações na cadeia de suprimentos

A informação e o seu compartilhamento entre as organizações pertencentes a cadeia de suprimentos são fatores essenciais para o sucesso da CS (CHOPRA; MEINDL, 2003; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

Bowersox e Closs (2001) salientam que a importância da informação nunca foi tão grande, e que esta se deve a três razões: o uso de informações para melhorar o serviço ao cliente, a sua utilização para reduzir estoques e o seu emprego no planejamento estratégico das cadeias de suprimentos.

Segundo Chopra e Meindl (2003, p. 342), “[...] a informação é a chave para o sucesso de uma cadeia de suprimento porque permite que a gerência tome decisões sobre um amplo escopo que abrange funções e empresas”.

Assim, através do compartilhamento de informações pelos participantes da cadeia de suprimentos, torna-se possível traçar estratégias para gerenciar a cadeia como um todo. Essa visão mais ampla facilita o alcance dos objetivos de atender as necessidades dos clientes e de maximizar o lucro total da cadeia, aumentando os lucros individuais das empresas participantes (CHOPRA; MEINDL, 2003; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

A figura 8, a seguir, ilustra a idéia apresentada por Chopra e Meindl (2003). Na figura observa-se que, com a posse de informações provenientes de todo os membros da cadeia, é possível tomar decisões que mensurem fatores de toda a cadeia, e assim melhorar sua *performance* geral.



Figura 8 - O papel da informação no sucesso da cadeia de suprimentos.

Fonte: Chopra e Meindl, 2003, p. 344.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003) compartilham da idéia de Chopra e Meindl (2003). Para os autores, a utilização correta de informações é uma oportunidade de melhorar a gestão da cadeia. O uso eficaz das informações pode proporcionar:

- A redução da variabilidade nas cadeias de suprimentos;
- A realização de melhores previsões de demanda, trazendo subsídios para promoções e mudanças de mercado;
- A coordenação de estratégias e sistemas de distribuição e manufatura;
- A redução de *lead times*;
- A reação e adaptação dos varejistas perante problemas de suprimentos;
- A melhora dos serviços aos clientes finais, oferecendo prazos de entregas mais precisos, além de ferramentas de rastreamento de pedidos.

Mentzer, Min e Zacharia (2000) citam que as informações compartilhadas entre as empresas de uma cadeia de suprimentos são de vários tipos, podendo possuir natureza estratégica ou tática.

Chopra e Meindl (2003) salientam que nem todas as informações são úteis para a tomada de decisão. Para serem utilizadas, as informações devem ser: precisas - representando a realidade -, úteis - possuindo relação com a decisão que está sendo tomada -, e acessíveis no momento certo - posto que mesmo que as informações sejam úteis e precisas, não auxiliarão na tomada de decisão se forem defasadas.

Croson e Donohue (2006) comentam que nos últimos anos houve um grande crescimento na quantidade e qualidade de informações compartilhadas em uma cadeia de suprimentos devido à utilização de diversos meios para compartilhar informação e ao avanço das tecnologias disponíveis.

Bowersox, Closs e Cooper (2006) argumentam que o compartilhamento de informações pode ocorrer de diversas maneiras: pode-se dar acesso direto ao seu banco de dados para os parceiros, contratar empresas terceirizadas para gerenciar o compartilhamento, entre outras opções.

Apesar dos benefícios que podem ser atingidos pela utilização eficaz das informações compartilhadas, muitas organizações relutam em dividi-las. Bowersox, Closs e Cooper (2006)

citam três motivos que dificultam o que os autores chamam de transição da informação confidencial para o compartilhamento de informações.

O primeiro motivo abrange a confiança. Segundo os autores, muitas vezes o compartilhamento de informações entre empresas não acontece, pois elas não confiam umas nas outras. Para aumentar essa confiança deve-se primeiramente compartilhar dados e informações operacionais e táticas, para posteriormente compartilhar informações mais importantes (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

O segundo motivo é que existem organizações que preferem lucrar com a venda de informações. No entanto, este é um pensamento a curto prazo, pois o lucro obtido através do compartilhamento e da utilização eficaz das informações excede substancialmente o da venda (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

O terceiro motivo deriva do fato de que muitas organizações encaram suas informações como um recurso fundamental, gerenciando-as de forma confidencial. Porém, cada vez mais se torna necessário o compartilhamento de informações confidenciais para planejar a cadeia como um todo, por isso deve-se construir parcerias baseadas na confiança, para assim compartilhar informações mais sigilosas (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

## **2.2 - Teoria da decisão**

Decisão é a escolha realizada individualmente, ou em grupo, por uma alternativa dentre todas as possíveis. Esta alternativa, segundo o tomador de decisão, é o melhor meio para alcançar determinado objetivo, considerando as consequências, os riscos e as incertezas de cada alternativa disponível (CORRAR; THEÓPHILO, 2004).

Segundo Andrade (2004, p. 2) decisão “[...] é um curso de ação escolhido pela pessoa, como o meio mais efetivo a sua disposição, para obter os objetivos procurados, ou seja, para resolver o problema que a incomoda”.

Simon (1963) cita ainda que uma decisão envolve essencialmente seis elementos: o tomador de decisão, o qual faz a escolha pela alternativa; os objetivos que o tomador de decisão pretende atingir; as preferências, que são os critérios pessoais utilizados para escolher a alternativa; a estratégia, que é o curso de ação adotado; a situação, que são os aspectos inerentes ao ambiente; e o resultado, provindo da escolha feita.

Tomar decisões é um ato inerente a todos os seres humanos, fazendo parte do cotidiano de pessoas com as mais diversas idades, níveis sociais e nas mais variadas situações (FREITAS; KLADIS, 1995).

A decisão pode ser simples como a escolha de uma peça de roupa ou complexa como as decisões que ocorrem dentro das organizações, as quais envolvem riscos e incertezas, além de outros fatores inerentes ao ambiente organizacional. Este estudo restringir-se-á às decisões tomadas dentro de uma organização.

### 2.2.1 - Decisões e o processo decisório nas organizações

Uma organização é um local onde decisões são frequentemente tomadas. Ela enfrenta desde problemas simples com resolução imediata até problemas amplos e complexos com resoluções a longo prazo, que envolvem fatores como risco e incerteza. Para solucionar estes problemas existem diversas alternativas, sendo que a escolha por uma delas é o fator principal que levará ao êxito.

Simon (1997) menciona que uma organização é um sistema de decisões, na qual todos os funcionários participam de maneira consciente e racional, escolhendo e decidindo de acordo com sua personalidade e motivações.

Segundo Freitas e Kladis (1995), todas as atividades ocorridas nas organizações, em qualquer nível hierárquico, são atividades de tomada de decisão, já que envolvem pessoas que estão efetivamente resolvendo problemas ou tomando decisões.

Para Pereira e Fonseca (1997), existe relação entre as decisões e o contexto em que elas são tomadas, ou seja, o ambiente organizacional, a cultura e a estrutura da organização interferem nas características das decisões. Assim, elas não podem ser analisadas separadamente do ambiente e das circunstâncias que a envolve.

A maioria das decisões tomadas em uma organização possui características diferentes das pessoais, são complexas e amplas, carecem de informações sobre o problema enfrentado e envolvem situações onde não se pode prever e avaliar os resultados das alternativas, dificultando assim a tomada de decisão.

Bateman e Snell (2009) relatam que grande parte das decisões tomadas dentro de uma organização carece de estrutura e enseja risco, incerteza e conflito (Figura 9), o que pode

retardar a tomada de decisão, uma vez que os tomadores de decisão hesitam em agir, pois não estão certos das dificuldades que serão enfrentadas.



Figura 9 - Características das decisões administrativas

Fonte: Bateman e Snell, 2009, p. 70.

A falta de estrutura dos problemas é um fato rotineiro nas organizações. A maioria dos problemas enfrentados não possui estruturação e são singulares, o que dificulta a ação do tomador de decisão, já que todas as alternativas possíveis para solucionar a situação envolvem perdas e ganhos (BATEMAN; SNELL, 2009).

A situação de conflito também é um fato rotineiro. Cohen (1976 *apud* Clericuzi, 2006) afirma que em uma organização existem interesses contraditórios na distribuição de recursos, muitas vezes escassos, o que termina por ser uma das razões para a existência de conflitos.

De acordo com Shimizu (2001), é inevitável que cada indivíduo que trabalhe na organização possua um objetivo diferente.

Para Bateman e Snell (2009) os tomadores de decisão enfrentam diferentes tipos de conflito: um quando todas as alternativas existentes são atrativas ou quando nenhuma das alternativas disponíveis é atrativa; outro quando existem divergências de idéias sobre quais objetivos e metas devem ser alcançados e como devem ser atingidos, ou seja, qual alternativa dentre as possíveis deve ser escolhida.

Existem diversas medidas a serem adotadas para solucionar os problemas de conflito: restringir o raciocínio, para a pessoa só opinar sobre a área que trabalhe; considerar apenas os



objetivos essenciais para a situação; priorizar os objetivos e adotar uma sequência para que eles sejam alcançados; entre outras (SHIMIZU, 2001).

O risco e a incerteza são situações presentes na tomada de decisão de qualquer organização moderna. A incerteza acontece quando não se pode prever o resultado de determinada decisão; na maioria das vezes, esta situação é derivada da falta ou da má qualidade das informações utilizadas na tomada de decisão (BATEMAN; SNELL, 2009).

A situação de risco é a circunstância na qual o tomador de decisão pode estimar e quantificar as consequências da decisão, porém, não tem total certeza do que ocorrerá se ela for tomada. Desse modo, dita situação tende a ser evitada pelos tomadores de decisão, que tentam atuar de forma a prever, minimizar e controlar o risco (SHIMIZU, 2001; BATEMAN; SNELL, 2009).

As decisões tomadas nas organizações podem ser classificadas utilizando diversos critérios. Corrar e Theóphilo (2004), Shimizu (2001) e Andrade (2004) apresentam dois tipos de critérios: o nível de decisão e o grau de estruturação do problema.

De acordo com o primeiro critério, as decisões tomadas dentro de uma organização não se restringem a um nível organizacional, podendo ocorrer em três níveis diferentes: o estratégico, o tático e o operacional. (Figura 10)



Figura 10 - Níveis de tomada de decisão em uma organização

Fonte: "Adaptado de" Shimizu, 2001, p. 31.

O nível estratégico abrange as decisões tomadas pela alta direção. Essas são de médio e longo prazo e estão relacionadas às missões, às políticas e aos objetivos, possuindo assim grande impacto na organização (SHIMIZU, 2001).

No nível tático as decisões são tomadas por gerentes de nível médio, gerentes de unidades de negócio. Elas são de curto e médio prazo e possuem a finalidade de conduzir aos objetivos traçados pela organização (SHIMIZU, 2001).

Já o nível operacional compreende as decisões do dia a dia, tomadas pelos gerentes de nível baixo, pelos gerentes de operações. Elas possuem caráter imediatista e determinam o modo como as operações da organização devem ser conduzidas para alcançar os objetivos definidos pelos outros níveis (SHIMIZU, 2001).

O outro critério apresentado pelos autores diz respeito à natureza do problema enfrentado, ao seu grau de estruturação. Segundo Corrar e Theóphilo (2004, p. 287), “[...] o grau de estruturação é inversamente proporcional à complexidade envolvida na decisão a ser tomada”. Assim, os autores determinam três tipos diferentes de problemas: os estruturados, os semi-estruturados e os não-estruturados.

Os problemas estruturados são aqueles cujo processo de operação e estratégia para alcançar os objetivos são bastante claros, ou seja, altamente estruturados. Eles são rotineiros e repetitivos com soluções fáceis, que necessitam de decisões simples (SHIMIZU, 2001).

Os semi-estruturados são aqueles que possuem algum grau de desestruturação. Shimizu (2001) menciona que estes problemas são constituídos por operações conhecidas; contudo, possuem algum fator desconhecido que pode influenciar no resultado. Esse tipo de problema é caracterizado pelo risco, pois não se pode prever totalmente a consequência de uma alternativa tomada para solucioná-lo.

Por fim, os problemas não-estruturados são singulares, com contexto volátil e com soluções difíceis, que requerem decisões únicas e complexas envolvendo julgamentos subjetivos em situações de incerteza (SHIMIZU, 2001; CORRAR; THEÓPHILO, 2004).

O quadro 4, na sequência, relaciona os tipos de problemas e os níveis de decisão, discriminando o grau de estruturação dos problemas enfrentados.

| Nível de<br>Decisão de<br>Problemas |                    | Operacional                   | Tático                                 | Estratégico                                             |
|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| <b>Estruturados</b>                 | Características    | Bem definido / Repetitivo     | Processo definido / Resultado variável | Objetivo bem definido / Alternativas a serem escolhidas |
|                                     | Duração/Frequência | Dias / Um mês                 | Meses / Um ano                         | Um a cinco anos                                         |
|                                     | Decisor            | Chefe da seção                | Gerente                                | Diretoria                                               |
|                                     | Complexidade       | Nenhuma                       | Baixa                                  | Média                                                   |
| <b>Semi-estruturados</b>            | Características    | Bem definido / Rotina variada | Definido em níveis diferentes          | Novos serviços / Planejamentos                          |
|                                     | Duração/Frequência | Dias / Semana                 | Meses a um ano                         | Anos                                                    |
|                                     | Decisor            | Chefe da seção                | Gerente / Diretoria                    | Diretoria                                               |
|                                     | Complexidade       | Baixa                         | Média                                  | Alta                                                    |
| <b>Não estruturados</b>             | Características    | Rotina sujeita a imprevistos  | Não rotineiros                         | Novos empreendimentos                                   |
|                                     | Duração/Frequência | Dias / Por período            | Variável de acordo com a situação      | Anos                                                    |
|                                     | Decisor            | Chefe da seção / Gerente      | Gerente / Diretoria                    | Diretoria / Acionistas                                  |
|                                     | Complexidade       | Média                         | Alta                                   | Muito Alta                                              |

Quadro 4 - Tipos de problemas e níveis de decisão

Fonte: Shimizu, 2001, p. 31.

Na vasta literatura sobre decisão é possível encontrar autores que classificam as decisões de acordo com o grau de estruturação das mesmas, utilizando a nomenclatura decisões estruturadas, semi-estruturadas e não-estruturadas. Essa classificação não difere totalmente em sua essência da apresentada por Corrar e Theóphilo (2004), Shimizu (2001) e Andrade (2004).

Simon (1997) apresenta a nomenclatura decisões programadas e não-programadas, cuja classificação compreende as decisões estruturadas e não-estruturadas. Assim, as programadas são aquelas altamente estruturadas, rotineiras e repetitivas, que são tomadas em um ambiente de certeza e possuem soluções fáceis. Já as não-programadas são aquelas caracterizadas pela falta de estrutura, sendo singulares e de difícil solução.

A tomada de decisão, como mencionado anteriormente, é um fator essencial para o sucesso na resolução de um problema. Shimizu (2001) argumenta que o processo de decisão em uma organização deve ser estruturado e resolvido detalhadamente.

Para Robbins (2002), o processo de tomada de decisão varia de acordo com as características dos tomadores de decisão, do ambiente e da maneira como a situação é abordada.

O processo decisório ocorrido nas organizações tem evoluído desde os anos de 1940 devido a diversos fatores, como: o surgimento de novas técnicas administrativas e a assimilação de técnicas quantitativas como a pesquisa operacional e a programação linear.

Simon (1997) formalizou o processo de tomada de decisão em uma organização. Para o autor, esse processo é constituído por três fases: inteligência, desenho e escolha.

Na fase da inteligência ocorre a exploração do ambiente e a coleta de dados. Neste estágio são procuradas situações, problemas ou oportunidades onde seja necessária a tomada de decisão. Também é feita uma coleta das variáveis vinculadas à situação e definidos os objetivos a serem alcançados.

Na fase do desenho, também chamada de concepção, acontece o desenvolvimento, a modelagem e a análise das alternativas para solucionar os problemas. A fase da escolha, como o nome indica, é o momento de se optar por uma alternativa, por um curso de ação.

Na literatura ainda é possível localizar formalizações mais detalhadas dos processos decisórios em uma organização. Bateman e Snell (2009) apresentam um processo com seis etapas diferentes, exposto na figura 11, a seguir:



Figura 11 - Etapas do processo decisório sob a ótica da Organização

Fonte: : Bateman e Snell, 2009, p.74.

Na figura 11 percebe-se que a primeira etapa de um processo decisório é a percepção da situação. Em seguida é feita a criação de estratégias para solucionar o problema, que podem ser originais e criativas ou baseadas em experiências passadas (BATEMAN; SNELL, 2009).

Na terceira etapa as possíveis estratégias são avaliadas através da mensuração e da comparação das consequências de cada alternativa disponível. Após a avaliação, se faz a escolha pelo curso de ação a ser seguido para solucionar o problema (BATEMAN; SNELL, 2009).

A quinta fase do processo decisório exposto por Bateman e Snell (2009) aborda a implementação do curso de ação escolhido. Nessa etapa deve-se criar e ordenar um processo para deixar a alternativa escolhida totalmente operacional, listar os recursos e as atividades necessários e estimar a duração necessária para a implementação do curso de ação escolhido.

Por fim, na última etapa, a estratégia escolhida é avaliada, para isso são coletadas informações sobre quão bem a decisão está operando. (BATEMAN; SNELL, 2009).

Shimizu (2001) cita alguns fatores que influenciam o sucesso do processo decisório. Segundo o autor deve-se ter: responsabilidade perante leis e penalidades; especialização, através do conhecimento técnico e teórico de especialistas; coordenação, para gerenciar o processo de decisão; e tempo, para trazer novas perspectivas para a decisão e diminuir o risco.

No entanto, o sucesso de um processo de tomada de decisão em uma organização não depende somente dos fatores diretamente envolvidos na decisão. Fatores culturais e comportamentais devem ser considerados, os mesmos podem diferir de organização para organização, ou de país para país, devendo ser respeitados (BECKER et al., 1997).

### 2.3 - Sistemas de apoio à decisão

Um sistema de apoio à decisão (SAD) pode ser definido como um sistema informatizado projetado para melhorar a eficácia do processo decisório de uma organização, auxiliando seus usuários na tomada de decisão de problemas semi-estruturados e não-estruturados (PEARSON; SHIM, 1995; SHIM et al., 2002; TEIXEIRA JÚNIOR, 2005).

O conceito de sistemas de apoio à decisão surgiu da evolução de duas áreas de pesquisas distintas: os estudos teóricos de tomada de decisão organizacional realizados por Simon nas décadas de 1950 e 1960 no *Carnegie Institute of Technology* e os trabalhos técnicos com sistemas computacionais realizados nos anos 60 no *Massachusetts Institute of Technology* (KEEN; MORTON, 1998 *apud* RIOS et al., 2003; SHIM et al., 2002; SCAFF; LIMA; ALMEIDA, 2005).

No início dos anos 70 começaram a ser publicados os primeiros artigos sobre SAD; porém, tais artigos não utilizavam a nomenclatura sistema de apoio à decisão.

O primeiro artigo que utilizou a nomenclatura *decision support systems* (DSS) ou sistema de apoio à decisão foi escrito por Gorry e Scott-Morton em 1971 e denomina-se *A framework for information systems*. Nesse estudo os autores argumentavam que deveriam existir sistemas de informação focalizados no auxílio de decisões semi-estruturadas ou não-estruturadas e que estes deveriam ser chamados de sistemas de apoio à decisão, já que os sistemas de informação gerencial centravam-se somente nas decisões estruturadas.

Marakas (1999) menciona que foi durante os anos 70 que o conceito básico de SAD foi solidificado no âmbito organizacional. Nesse período os sistemas de apoio à decisão começaram a ser utilizados por gerentes como ferramenta de auxílio à tomada de decisão para enfrentar problemas semi-estruturados e não-estruturados (PEARSON; SHIM, 1995).

Pearson e Shim (1995) constatarem que na década seguinte foram criados sistemas computacionais que utilizavam tecnologias com o objetivo de melhorar a eficácia de todos os tipos de atividades ocorridas dentro da organização. Também citam o surgimento de diversas ferramentas como planilhas eletrônicas e programas de visualização gráfica que facilitaram o uso dos sistemas de apoio à decisão.

De acordo com Shim et al. (2002) ainda na década de 1980 surgiram novos conceitos como o SAD em grupo, ou *group decision support systems* (GDSS), e o sistema de informação executiva, ou *executive information systems* (EIS), que estendeu o escopo de um sistema de apoio à decisão para um nível corporativo.

Já na década de 90 ocorreram diversos avanços na área tecnológica. O desenvolvimento de *softwares* e *hardwares* proporcionou avanços significativos para os sistemas de apoio à decisão; também foram desenvolvidas novas ferramentas como o *datawarehouse*, o *datamining* e o *online analitical processing* (OLAP), que podem ser utilizadas pelos sistemas de apoio à decisão auxiliando os gestores no processo de tomada de decisão (SHIM et al., 2002).

Segundo Teixeira Junior (2005), nos anos 90 houve progressos nas áreas de gerenciamento de dados e modelos utilizados pelo SAD, principalmente nos aspectos de integração, representação e processamento.

Nesse período ainda ocorreu a disseminação da internet, que proporcionou novas aplicabilidades às tecnologias e ferramentas existentes para os sistemas de apoio à decisão, que podem se aproveitar da rápida disseminação da informação proporcionada pela internet para gerar oportunidades para as organizações (SHIM et al., 2002).

O assunto sistema de apoio à decisão é amplamente discutido na literatura. Diversas definições podem ser encontradas; contudo, não diferem em sua essência da definição apresentada. Dentre essas definições pode-se citar Scaff, Lima e Almeida (2005, p. 5) que mencionam que os sistemas de apoio à decisão são “[...] tecnologias que provêm informações e ferramentas que auxiliam os gestores nos processos de decisão”.

Segundo Sprague e Watson (1991), os sistemas de apoio à decisão são sistemas computacionais que visam apoiar os tomadores de decisão através de uma interação direta com modelos, dados e análises.

Shimizu (2001, p.52) os define como: “[...] um conjunto de procedimento (programas de *software*) baseados em modelos para processar dados e analisar problemas, tendo como finalidade dar assistência aos administradores no processo de decisão [...]”. O autor também menciona que o SAD é “um sistema flexível e expansível, que procura obter resultados eficazes no planejamento de longo, médio e curto prazo”.

Morton e Gorry (1971 *apud* Shim et al., 2002) citam que os sistemas de apoio à decisão são sistemas computacionais que lidam com problemas que em algum momento são semi-estruturados ou não-estruturados.

Para os autores, um SAD pode lidar com a parte estruturada do problema, no entanto, necessita do tomador de decisão, de seu julgamento e de suas competências para lidar com a parte não-estruturada, ou seja, o sistema de apoio à decisão serve somente como ferramenta de auxílio ao tomador de decisão, não podendo substituí-lo.

Com as definições apresentadas, define-se que um SAD é um sistema que auxilia os tomadores de decisão em diferentes situações, podendo ser utilizado por diferentes tipos de organizações.

As organizações atualmente situam-se em um ambiente competitivo, composto por fornecedores, consumidores, concorrentes, entre outras forças. Elas precisam apresentar respostas rápidas e eficazes a qualquer mudança neste ambiente, explorando melhor seus recursos para conquistar vantagens sobre seus concorrentes (CLERICUZI, 2006).

Stair e Reynolds (2002) mencionam que os sistemas de apoio à decisão podem ser utilizados por todos os tipos de organizações, proporcionando vantagens para as mesmas, já que podem gerar lucros maiores, custos menores e ofertas de melhores produtos e serviços.

Turban (1995) refere-se a alguns benefícios que um SAD pode trazer às organizações. Para o autor um SAD pode: proporcionar respostas mais rápidas a situações inesperadas; possibilitar economia de custos através de melhores decisões; proporcionar um melhor e mais rápido uso dos dados; melhorar a capacidade da organização em lidar com problemas complexos; etc.

Stair e Reynolds (2002) comentam que os benefícios alcançados através de um sistema de apoio à decisão eficaz não se restringem somente à organização onde ele é implementado, mas também aos seus parceiros da cadeia de suprimentos, bem como aos seus clientes, seus fornecedores ou qualquer indivíduo interligado à empresa.

Os sistemas de apoio à decisão, segundo as definições apresentadas, devem dar suporte às diferentes estruturas de problemas nas diversas situações enfrentadas. A figura 12, a seguir, mostra a abrangência de um SAD em relação à estrutura da decisão.



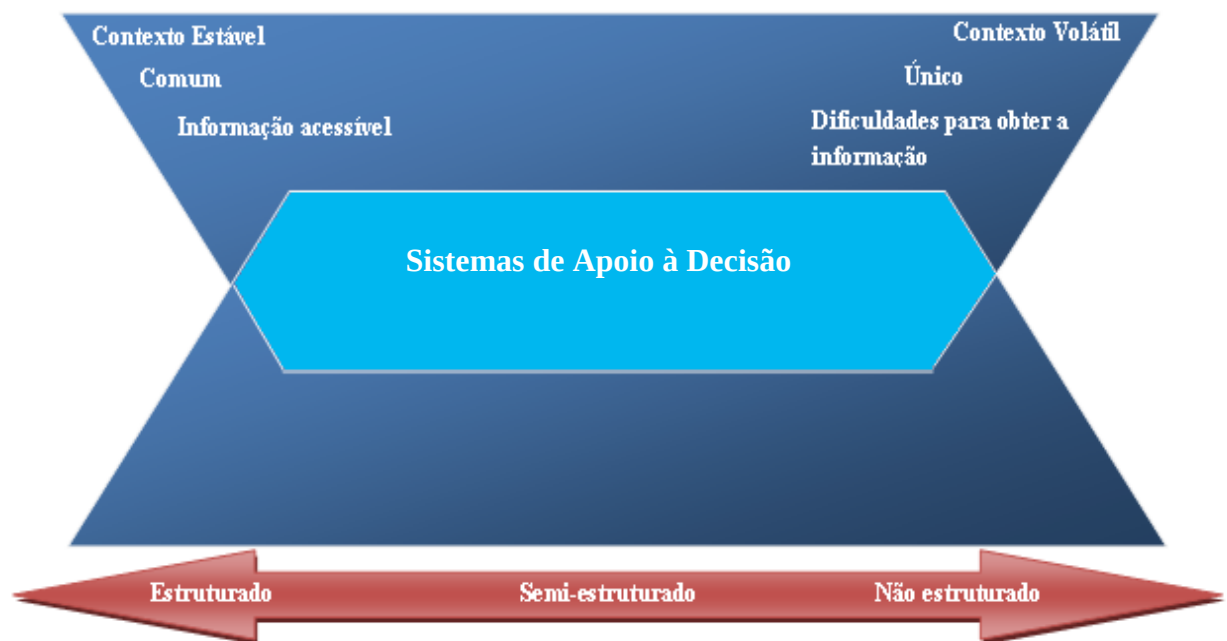


Figura 12 - Abrangência do SAD em relação à estruturação da decisão.

Fonte: “Adaptado de” Marakas, 1999.

Na figura 12 é possível visualizar as decisões que devem ser auxiliadas por um SAD. Observa-se que a extremidade esquerda corresponde às decisões estruturadas, onde os problemas são estruturados, rotineiros e repetitivos e com soluções fáceis - neste contexto praticamente não há decisão a ser tomada.

No extremo oposto observam-se as decisões não-estruturadas. Estas correspondem a problemas desestruturados, singulares, com contexto volátil e com difícil solução - esses devem ser transformados, reduzindo o grau de desestruturação, para serem apoiadas por um SAD.

Turban e Aronson (1998 *apud* Shimizu, 2001) consideram que, no âmbito empresarial, os sistemas de apoio à decisão devem possuir as seguintes características: ser adaptável e flexível; procurar eficácia e não eficiência; ser formado por programas semi-estruturados; permitir decisão individual ou em grupo; atender tomadores de decisões de diferentes níveis; proporcionar variedade de estilos de decisão; tomar decisões em sequências ou interdependentes; proporcionar escolhas inteligentes, sedimentadas em dados e informações; proporcionar um uso fácil ao usuário; permitir o controle humano; facilitar a formulação do problema pelo usuário final e permitir a modelagem e a análise dos resultados.

As características apresentadas Turban e Aronson (1998 *apud* Shimizu, 2001) podem ser visualizadas na figura 13, a seguir:



Figura 13 - Características de um Sistema de Apoio à Decisão ideal

Fonte: “Adaptado de” Shimizu, 2001, p. 53.

Segundo Stair e Reynolds (2002), os sistemas de apoio à decisão possuem diversas funções e características que possibilitam o seu uso para suporte gerencial; porém, essas características não são fixas, variando de acordo com a estrutura de cada SAD. De acordo com os autores, um SAD geralmente possui as seguintes características e funções:

- Lidar com grandes quantidades de dados de diversas origens: um SAD possui ferramentas como *datawarehouse*, ou um gerenciamento de bancos de dados, que permitem acessar e manipular dados internos e externos;

- Prover flexibilidade de relatório e de apresentação: um SAD possui diversos modelos e formatos para a visualização das informações; com isso os tomadores de decisão podem obter a informação desejada no formato mais adequado às suas necessidades;
- Possuir orientação textual e gráfica: um SAD possui uma interface gráfica ou textual de acordo com o desejo do tomador de decisão, facilitando assim a compreensão das situações enfrentadas e a transmissão do seu entendimento para outras pessoas;
- Suportar análise *drill down*: um SAD possibilita a visualização das informações em diferentes níveis de detalhes, permitindo que os tomadores de decisão aprofundem-se nas informações;
- Executar análises complexas e sofisticadas: um SAD reuni diversos programas e ferramentas analíticas que possibilitam a análise dos dados de diversas maneiras, permitindo fazer comparações entre as diferentes análises;
- Executar análise de sensibilidade: com a utilização de um SAD o tomador de decisão pode fazer mudanças hipotéticas nos dados e observar o quanto essas alterações influenciam nos resultados;
- Possuir suporte às abordagens de otimização: um SAD suporta análises de otimização, as quais buscam alcançar um resultado ótimo para uma ou mais variáveis.
- Executar simulações: com um SAD é possível usar simulações. Segundo Stair e Reynolds (2002, p. 318), “[...] a simulação é a possibilidade do SAD agir como um sistema real ou duplicar os recursos”. Através da mesma é possível reproduzir um sistema integralmente com todos seus componentes, sendo que, geralmente, a simulação é utilizada para compreender sistemas complexos, com diversas restrições e variáveis.

Existem discordâncias na literatura sobre os componentes que constituem um sistema de apoio à decisão. Porém, há um consenso de que um SAD deve ser composto essencialmente por três elementos básicos: um sistema gerenciador de banco de dados, que possui a função de armazenar, acessar e gerenciar dados e informações internas e externas da

empresa; um sistema gerenciador de modelos, o qual deve conseguir acessar, estruturar e executar os modelos que são utilizados na resolução dos problemas enfrentados pela empresa; e um sistema de diálogo, também chamado de interface, que deve permitir a comunicação dos tomadores de decisão e os subsistemas do sistema de apoio à decisão, ou seja, este componente deve facilitar a interpretação das informações fornecidas pelo sistema de apoio à decisão (PEARSON; SHIM, 1995; SHIM et al., 2002).

Sprague e Watson (1991) ilustram os três componentes básicos de um sistema de apoio à decisão, acrescentando um banco de dados (BD) e um banco de modelos (BM). A figura 14 expõe, na sequência, a arquitetura do SAD descrita pelos autores, com todos os cinco componentes.

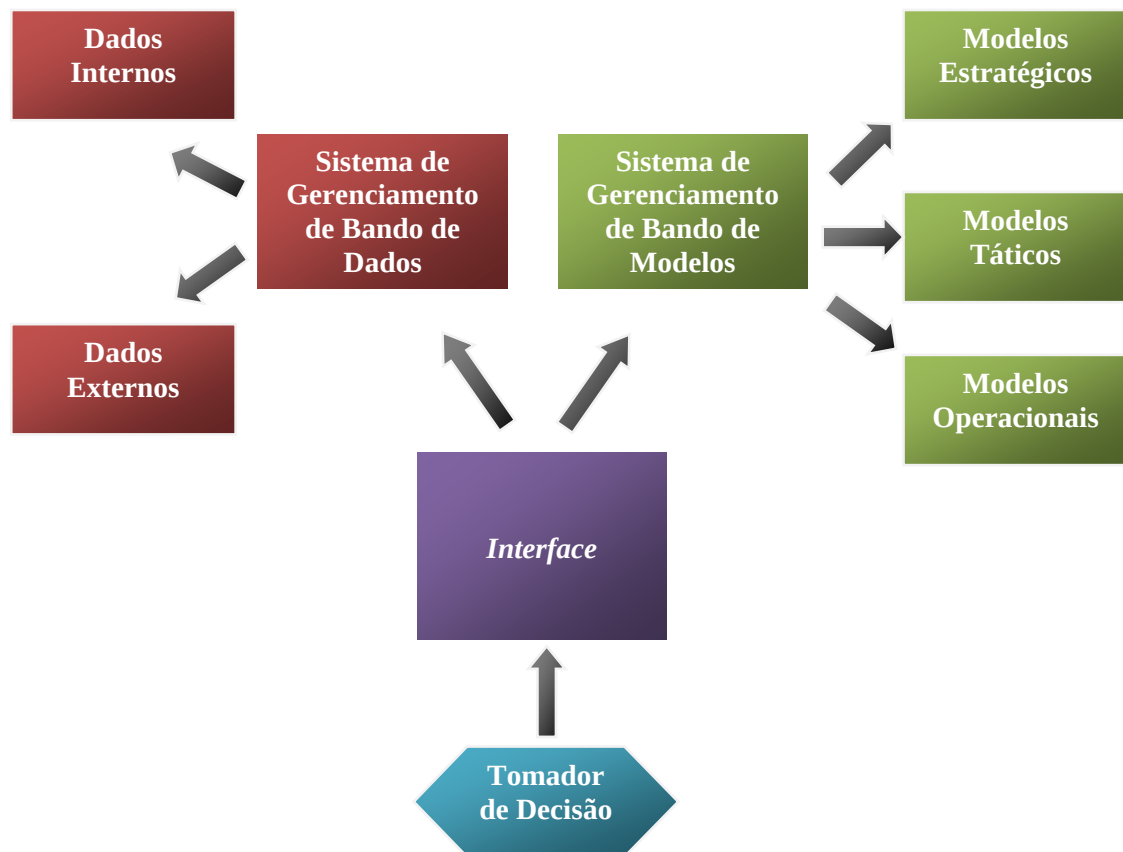


Figura 14 - Esquematização dos componentes de um SAD

Fonte: “Adaptado de” Sprague e Watson, 1991, p. 28.

O banco de dados descrito por Sprague e Watson (1991) é o local onde os dados são armazenados e organizados. O BD utilizado por um SAD deve possuir dados relevantes para as situações enfrentadas, já que estes são coletados de outros BD, sendo os mesmos internos ou externos.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003) afirmam que os dados são fundamentais para a qualidade de qualquer análise; para os autores, a qualidade dos dados é fator relevante para a acurácia da solução, da decisão que será tomada.

O gerenciamento do banco de dados em um SAD é feito por um sistema gerenciador. Esse sistema é formado por um ou mais *softwares*, que possuem diversas funções: facilitar a criação ou a modificação das estruturas dos dados; armazenar dados; gerar relatórios a partir dos dados; recuperar e manipular dados, sendo capaz de filtrá-los, eliminando os repetidos, desnecessários e redundantes, ou seja, ele é capaz de processar uma reorganização dos dados com o objetivo de deixá-los mais coesos, melhorando a qualidade dos dados utilizados (STAIR; REYNOLDS, 2002).

O segundo banco da estrutura apresentada por Sprague e Watson (1991) é o banco de modelos, o qual é constituído por ferramentas de análise de dados e modelos, que podem ser utilizados para auxiliar no processo de decisão.

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003) mencionam que após a coleta dos dados necessários, deve-se analisá-los utilizando diversos modelos e técnicas analíticas, constituídas por algoritmos de pesquisa operacional, de inteligência artificial, técnicas estatísticas, entre outros.

Segundo Stair e Reynolds (2002), o principal objetivo do BM é proporcionar aos tomadores de decisão de uma organização acesso a uma grande variedade de modelos que interagem com os dados coletados através de cálculos, algoritmos matemáticos, simulações, auxiliando assim os tomadores de decisão no processo decisório.

Os modelos utilizados pelo BM são uma representação, uma aproximação simplificada da realidade, e podem ser construídos através de diversas variáveis e suas relações matemáticas (ARENALES et al., 2007).

O banco de modelos é composto por diversos tipos de modelos estatísticos, financeiros, matemáticos, entre outros modelos quantitativos que proporcionam capacidade analítica fundamental a um sistema de apoio à decisão.

Turban (1995) menciona que a complexidade de algumas situações não pode ser representada analogicamente. Nestas situações, os modelos matemáticos utilizam linguagem matemática para representar de uma maneira simples a realidade.

Os modelos estatísticos são constituídos por técnicas estatísticas tais como: análise fatorial, análise de *cluster*, análise discriminante, regressão linear, regressão múltipla, testes de hipóteses, projeção de demanda, entre outras (STAIR; REYNOLDS, 2002).

Os modelos financeiros são utilizados em situações e problemas específicos relacionados à área financeira de uma organização. São constituídos por técnicas como: taxa interna de retorno, taxa interna de retorno modificada, *payback*, *payback* descontado, valor presente líquido, etc. (STAIR; REYNOLDS, 2002)

Segundo Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003, p. 271), “[...] as ferramentas matemáticas, normalmente provenientes da disciplina de pesquisa operacional, podem ser aplicadas aos dados para determinar soluções potenciais para os problemas”. Os autores dividem os algoritmos em dois tipos: os exatos - que são algoritmos geralmente utilizados para problemas pequenos que possuem dados exatos, onde se pode encontrar a melhor solução possível, a solução ótima para os problemas; e as heurísticas - as quais são algoritmos que possibilitam alcançar soluções boas, mas não necessariamente ótimas para os problemas.

A utilização de modelos para a análise dos dados nos sistemas de apoio à decisão possui vantagens e desvantagens. A principal desvantagem está relacionada à construção do modelo, posto que pode ocorrer uma simplificação da realidade, afetando a representatividade do modelo (STAIR; REYNOLDS, 2002).

As vantagens são: o menor custo em relação a sistemas reais, a rapidez com que podem ser desenvolvidos, testados e analisados e a possibilidade de testar diferentes estratégias e alternativas para a decisão sem ocasionar custo e danos para as organizações (STAIR; REYNOLDS, 2002).

O sistema gerenciador de banco de modelos é o sistema responsável pelo gerenciamento dos modelos utilizados pelo SAD. Sua função é a de armazenar, recuperar e organizar os modelos (PEARSON; SHIM, 1995; SHIM et al., 2002).

A *interface* é o componente que permite uma interação com o tomador de decisão; para isso deve facilitar a comunicação dos usuários com os componentes, os subsistemas do SAD (PEARSON; SHIM, 1995; SHIM et al., 2002).

Segundo Marakas (1999), o tomador de decisão também deve ser considerado um componente integrante de um SAD, pois o seu estilo gerencial, as suas características e as suas capacidades interferem diretamente na decisão a ser tomada, sendo elementos importantes para o sucesso de aplicação de um SAD.

### 2.3.1 - Sistemas de apoio à decisão na cadeia de suprimentos

A cadeia de suprimento é parte integrante das estratégias de uma empresa. Ela é um conjunto interligado de elos entre fornecedores, fabricantes, distribuidores, depósitos, varejistas e os próprios clientes que abrange os processos de transformação de idéias e matérias-primas para serviços e produtos acabados (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004).

As atividades ocorridas em uma cadeia de suprimentos abrangem áreas como: compras; logística; transporte; distribuição; *marketing*; entre outras. Para administrar estas atividades, as relações com outras empresas, maximizar o lucro e atender de maneira satisfatória os clientes, é necessário um gerenciamento da cadeia de suprimentos, que compreende as atividades e decisões tomadas para coordenar os elos pertencentes à cadeia (DORNIER et al., 2000; LUMMUS; VOKURKA, 1999).

Chopra e Meindl (2003, p. 6) mencionam que “[...] o gerenciamento da cadeia de suprimento bem-sucedido exige diversas decisões relacionadas ao fluxo de informações, de produtos e monetário”.

Essas decisões acontecem em três fases distintas, permitindo uma classificação de acordo com a frequência que a decisão é tomada e com o período de execução das mesmas (CHOPRA; MEINDL, 2003). As três fases são:

- a. Projeto da cadeia de suprimento: as decisões desta fase são estratégicas, de longo prazo e envolvem muitos recursos da organização, tornando qualquer alteração no curto prazo muito custosa. Estão relacionadas com a formação e com a estruturação da cadeia de suprimentos, ou seja, com o local de produção, as instalações de armazenagem, os meios de transportes e os sistemas de informação adotados pelas organizações pertencentes à cadeia;
- b. Planejamento da cadeia de suprimentos: as decisões nesta fase são referentes a um curto e médio prazo, estão relacionadas à maneira como a cadeia de suprimentos deve funcionar durante um determinado período. Elas remetem às políticas de distribuição, reabastecimento, estocagem, terceirização, campanhas de *marketing*;

- c. Operação da cadeia de suprimento: as decisões nesta fase estão relacionadas aos processos da cadeia de suprimentos, visam ao melhor atendimento do pedido final do cliente. São de curto prazo com implementação imediata, envolvem pouca incerteza, possuem o objetivo de otimizar a produção e o desempenho da cadeia de suprimento.

Os sistemas de apoio à decisão podem auxiliar no processo de tomada de decisão sobre assuntos relacionados à cadeia de suprimentos de uma empresa. Segundo Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003, p. 286):

[...] uma vez que os dados básicos necessários para tomar decisões tenham sido coletados, existe uma forte tendência para a utilização desta informação de maneira sofisticada para obter vantagem competitiva através da melhoria do serviço e diminuição dos custos da cadeia de suprimentos.

Ao longo de uma cadeia de suprimentos são encontradas diversas ocasiões em que um SAD pode melhorar a eficácia das decisões tomadas, gerando e avaliando alternativas possíveis para determinada situação (SHIMIZU, 2001).

De acordo com Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003), os problemas enfrentados nessas ocasiões não são estáticos e nem suficientemente bem definidos para serem resolvidos apenas com a utilização de um computador. Na resolução destes problemas características como flexibilidade, intuição e sabedoria precisam ser utilizadas, o que torna essencial a presença de uma pessoa, de um tomador de decisão humano.

Ainda segundo os autores, as decisões tomadas em uma cadeia de suprimento são estratégicas, táticas ou operacionais e estão relacionadas a situações como:

- Projeto da rede logística: nesta situação um SAD poderia auxiliar na determinação da melhor localização para os elos da cadeia de suprimentos, avaliando as vantagens e desvantagens das possíveis localizações. Por exemplo, para se determinar a melhor localização de uma fábrica é necessário avaliar fatores como custos de mão-de-obra, da terra, de energia, dos transportes;



- Planejamento da demanda: as previsões de demanda são cada vez mais necessárias para a eficiência de uma cadeia de suprimentos. Técnicas estatísticas como média móvel simples, média móvel ponderada, suavização exponencial, método de Holt, método de Winter e métodos de decomposição podem ser utilizadas por um SAD para melhorar a acurácia da previsão de demanda;
- Planejamento da capacidade e suprimento: nesta ocasião um SAD auxiliaria o tomador de decisão a decidir sobre quanto e onde produzir. Essas decisões são complexas e influenciam toda a cadeia de suprimento no curto, médio e longo prazo;
- Aquisições: as aquisições possuem grande importância para algumas cadeias de suprimentos; nestas situações um SAD ajudaria o tomador de decisão a obter um gerenciamento de compras mais eficaz;
- Planejamento dos recursos de distribuição: nesta circunstância um SAD utilizaria técnicas analíticas para sugerir as melhores políticas de distribuição e estocagem, com a finalidade de atingir elevados níveis de serviços com os menores custos possíveis;
- Planejamento das necessidades de materiais: nesta ocasião um SAD seria utilizado para planejar o início e o cronograma de fabricação de um produto;
- Alocação de estoques: decisões sobre a quantidade e em quais depósitos os produtos devem ser mantidos são rotineiras na gestão da cadeia de suprimentos. Um SAD poderia utilizar informações sobre o custo de transporte e sobre a previsão de demanda juntamente com algoritmos matemáticos para gerar sugestões de políticas de estocagem;
- Gerenciamento de estoques: em uma cadeia de suprimentos ocorrem situações nas quais existem diversos produtos armazenados nos depósitos. Nesta ocasião um SAD poderia utilizar informações sobre o custo de armazenagem, o custo de transporte e a projeção de demanda para sugerir uma política de estoque;

- Determinação da instalação do local de produção: algumas cadeias de suprimentos possuem diversos locais de produção. Um SAD auxiliaria a decidir o melhor local para fabricar determinado produto; para isso, considera os custos de produção, *lead times*, custo de transporte e previsões de demanda;
- Programação da produção: nesta ocasião um SAD poderia auxiliar na determinação da melhor sequência de produção, ele utilizaria, para isso, inteligência artificial e técnicas matemáticas para desenvolver um sequenciamento otimizado para a produção;
- Programação da mão-de-obra: nesta situação um SAD utilizaria informações sobre os custos de mão-de-obra juntamente com regras de trabalho, a fim de sugerir as melhores opções de escalas de trabalho;
- Planejamento da frota: nesta circunstância um SAD poderia ajudar a selecionar qual transporte deveria ser utilizado na cadeia de suprimento, além de quais itinerários deveriam ser seguidos;
- Estimativa do *lead time*: nesta ocasião um SAD poderia ser utilizado para estimar de maneira mais precisa o tempo que um pedido será atendido; para desempenhar tal tarefa ele utilizaria informações sobre a programação de produção, o tempo de fabricação e o tempo de entrega.

Na gestão da cadeia de suprimentos, as diversas situações e os diferentes problemas complexos enfrentados pelos tomadores de decisão impossibilitam a utilização de apenas um sistema de apoio à decisão geral; este, se utilizado, possuiria um alto custo e uma baixa eficácia (SHIMIZU, 2001).

As organizações precisam avaliar a necessidade da utilização de um SAD, e para isto devem mensurar seus objetivos com os recursos financeiros e estruturais disponíveis. Posteriormente, precisam analisar a situação enfrentada e verificar qual SAD irá se adaptar a ocasião, proporcionando uma melhor eficácia (SHIMIZU, 2001; SIMCHI-LEVI, KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003) afirmam que a escolha do sistema de apoio à decisão ideal, que auxiliaria melhor o tomador de decisão em uma determinada

situação da cadeia de suprimentos, deve considerar os seguintes aspectos: o escopo do problema enfrentado, os dados necessários, a compatibilidade com os sistemas utilizados pela empresa, as exigências de análise - abrangendo as ferramentas analíticas necessárias -, as exigências de apresentação - incluindo questões sobre os recursos gráficos desejáveis -, a capacidade e a habilidade de gerar uma variedade de soluções - proporcionando opções para o tomador de decisão -, as exigências de sistemas de *software* e *hardware*, a existência de sistemas complementares que integrem o sistema básico e o preço total - incluindo o modelo básico inicial e as alterações feitas de acordo com as exigências da empresa.

A implementação de um sistema de apoio à decisão em uma cadeia de suprimentos é uma questão importante para as empresas. Existe uma tendência de que um SAD seja utilizado apenas após a implementação de um ERP (*Enterprise Resource Planning*), pois com a utilização desse sistema, os dados que auxiliariam na análise da situação e na tomada de decisão já estariam disponíveis de forma acessível e completa para o tomador de decisão. Porém, na realidade, a implementação de um SAD pode ocorrer antes da de um sistema ERP (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi (2003) citam que a implementação de um sistema de apoio à decisão básico possui duração de 6 a 12 meses e o investimento necessário é pequeno se comparado ao feito na implementação de um sistema ERP. Prosseguem citando que as instalações são baratas, o treinamento é complexo, porém, destinado a um número pequeno de usuários - o que faz o *payback* do investimento feito para a implementação possuir menor duração quando comparado ao do sistema ERP. As características de implementação de um SAD podem ser observadas no quadro 5, abaixo:

| Aspectos                            | SAD                               | ERP                          |
|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| <b>Duração</b>                      | 6 - 12 meses                      | 18 - 48 meses                |
| <b>Valor</b>                        | Estratégico, tático e operacional | Operacional                  |
| <b>Retorno sobre o investimento</b> | 1 ano de <i>payback</i>           | 2 - 5 anos de <i>payback</i> |
| <b>Usuários</b>                     | Pequeno grupo de usuários         | Todos os usuários finais     |
| <b>Treinamento</b>                  | Complexo                          | Simple                       |

Quadro 5 - Aspectos de um SAD para a cadeia de suprimentos

Fonte: Simchi-Levi, Kaminsky e Simchi-Levi, 2003, p. 258.

## 2.4 - Otimização

A otimização é uma área do conhecimento que procura a melhor maneira possível, o modo ótimo de utilizar os recursos para atingir os objetivos estabelecidos. No âmbito organizacional ela é empregada para aumentar a eficiência e a eficácia das decisões tomadas nas organizações (RAGSDALE, 2004; MILAN, 2008).

Segundo Ragsdale (2004), o mundo possui recursos limitados; no ambiente de negócios altamente competitivo torna-se essencial utilizá-los da maneira mais eficiente possível, para assim maximizar os lucros ou minimizar os custos.

Um modelo de otimização pode ser utilizado, por exemplo, para se encontrar a menor quantidade de impostos que necessitam ser pagos sem infringir a lei local, para descobrir a quantidade ideal de produtos que devem ser produzidos de modo a atender a demanda e minimizar os custos, entre outros (RASGDALE, 2004).

Esta parte da revisão bibliográfica aborda a modelagem matemática, a pesquisa operacional e a programação linear.

### 2.4.1 - Modelos e modelagem matemática

Modelos são representações simplificadas ou aproximações abstratas da realidade, que procuram imitar as principais características da mesma. A simplificação ocorrida nos modelos origina-se do fato que a realidade pode ser muito complexa, sendo que muitas de suas partes são irrelevantes para a análise de uma determinada situação (TURBAN, 1995).

Os modelos possuem papel importante no mundo dos negócios, sendo frequentemente utilizados pelas organizações para dar suporte no processo de tomada de decisão (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A utilização de modelos pode proporcionar diversos benefícios para as organizações como: a diminuição nos gastos feitos na análise, já que o custo de uma análise utilizando um modelo é inferior a uma utilizando um objeto real; a diminuição nos gastos de pesquisa e desenvolvimento, pois o custo de erros ocorridos durante testes é menor que os ocorridos em sistemas reais; uma redução no tempo de análise, posto que a mesma pode ser feita rapidamente através do computador; a utilização de uma grande quantidade de variáveis; a

facilidade de manipulação de modelos, que podem ser adaptados facilmente a qualquer momento, sendo possível efetuar mudanças nas variáveis utilizadas; etc (TURBAN,1995; RASGDALE, 2004).

Na vasta literatura sobre modelos é possível localizar diversas classificações e tipos de modelos. Goldbarg e Luna (2000) os classificam de acordo com a sua natureza, dividindo-os em físicos e abstratos.

Stair e Reynolds (2002) citam quatro tipos diferentes de modelos: os modelos narrativos, os modelos físicos, os modelos esquemáticos e, por fim, os modelos matemáticos.

Os modelos narrativos são baseados em descrições verbais ou escritas de uma situação. Esse tipo de modelo é utilizado dentro das organizações quando um funcionário descreve determinada ocorrência ou situação para outra pessoa; esta descrição pode ser feita através de relatórios, documentos formais ou verbalmente (STAIR; REYNOLDS, 2002).

Os modelos físicos são representações tangíveis da realidade, como maquetes e protótipos. Eles são projetados e utilizados pelas organizações para conseguir informações essenciais para o sucesso de determinado produto, além de diminuir custos e riscos envolvidos no processo de pesquisa e desenvolvimento (STAIR; REYNOLDS, 2002).

Modelos esquemáticos são gráficos, figuras, ilustrações, fotos, entre outros artifícios utilizados nas organizações para reproduzir uma determinada situação, como por exemplo, cronogramas ou previsões e projeções financeiras. São utilizados frequentemente, haja vista que a ilustração gráfica pode facilitar a compreensão de determinada situação (STAIR; REYNOLDS, 2002).

Para Bassanezi (2002, p. 20), um modelo matemático “[...] é um conjunto de símbolos e relações matemáticas que representam de alguma forma o objeto estudado”.

Em sua essência, os modelos matemáticos são representações simplificadas da situação original, expressas através de símbolos e expressões matemáticas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; ARENALES et al., 2007).

Segundo Wermuth (2007, p. 79) um modelo matemático é:

[...] um modelo abstrato que utiliza linguagem matemática para descrever o comportamento de um sistema. Os modelos matemáticos são usados de forma especial nas ciências naturais e na engenharia (como na física, na biologia, na engenharia elétrica, e em outras), mas também nas ciências sociais (como na economia, na sociologia e em ciência política).

Os modelos matemáticos são utilizados quando um indivíduo ou uma organização se prontifica a analisar uma situação; para tanto, ele observa esta situação e busca leis que a reja.

Quando estas leis podem ser descritas em uma linguagem matemática, dá-se origem a um modelo matemático (ARENALES et al., 2007).

O objetivo principal do uso da matemática é extrair as partes importantes da situação analisada e transcrevê-las em um formato abstrato, o qual deve ser suficientemente detalhado para possibilitar a análise da situação; no entanto, deve possibilitar uma economia de linguagem (BASSANEZI, 2002).

Bassanezi (2002) menciona que uma modelagem matemática eficiente: possibilita uma tomada de decisão mais eficaz; estimula a utilização de novas idéias e técnicas; permite fazer interpolações, extrapolações e previsões; serve como método de melhor entendimento da realidade; pode sugerir prioridades de aplicações de recursos; entre outros benefícios.

Um processo simplificado de análise e resolução de uma situação real utilizando a modelagem matemática pode ser visualizado na figura 15, apresentada em seguida. Observam-se todas as etapas do processo, desde a etapa inicial de modelagem matemática da situação, quando são definidas as variáveis e as relações matemáticas que descrevem de maneira abstrata a situação, até a avaliação das conclusões finais, obtidas através do modelo matemático.

Ainda é possível visualizar as etapas de análise e interpretação. No estágio de análise são aplicadas técnicas matemáticas na resolução do modelo. Já na interpretação se analisa se os resultados obtidos pelo modelo são suficientes para obter conclusões finais da situação real.

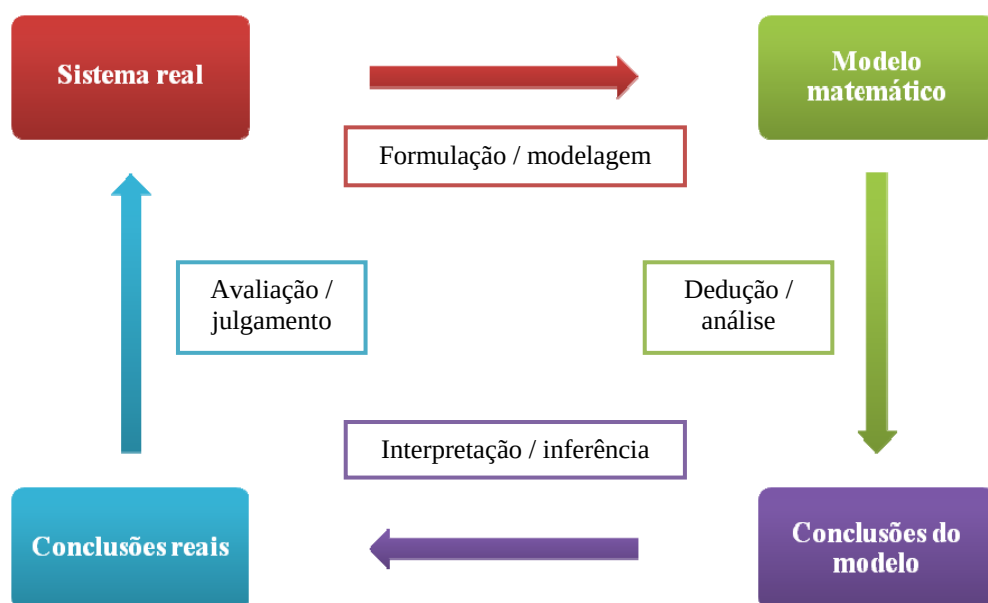


Figura 15 - Processo de modelagem

Fonte: Arenales et al., 2007, p. 4.

Segundo Bassanezi (2002, p. 20), “[...] os modelos matemáticos podem ser formulados de acordo com a natureza dos fenômenos ou situações analisadas e classificados conforme o tipo de matemática utilizada”. O autor classifica os modelos matemáticos como:

- a. Linear ou não linear: de acordo com as equações que os constituem;
- b. Dinâmico ou estático: dinâmicos são os modelos que simulam situações, nas quais podem ocorrer variações como crescimento populacional. Estáticos são os modelos que representam a forma do objeto sem variações;
- c. Educacional ou aplicativo: educacionais são os modelos com soluções simples e indutivas. Aplicativos são os modelos baseados na realidade, com um grande número de variáveis interrelacionadas, tornando a equação matemática complexa;
- d. Estocástico ou determinístico: estocásticos são os modelos que se utilizam de acontecimentos prováveis. São utilizados em situações aleatórias, como problemas de fila, e possibilitam a obtenção de soluções ótimas em probabilidade. Determinísticos são os modelos que possuem variáveis com relações bem definidas, com um conhecimento preciso das grandezas utilizadas; partem da suposição que existem informações suficientes para fazer uma previsão futura precisa. Modelos de programação linear são um exemplo de modelos determinísticos.

Os modelos matemáticos podem ser baseados em diversas técnicas como: a programação linear, a programação não-linear, a análise de regressão, a análise discriminante, a simulação, a teoria das filas, etc (RASGDALE, 2004).

Teixeira Junior (2005) cita diversos modelos que utilizam técnicas matemáticas para dar suporte à tomada de decisão, dentre os quais se encontram os modelos otimizantes, que são utilizados para a escolha da melhor opção possível dentre as alternativas disponíveis.

### 2.4.2 - Pesquisa operacional

A pesquisa operacional (PO) é a área do conhecimento que envolve técnicas e procedimentos matemáticos no auxílio à resolução de problemas que abrangem a utilização de recursos escassos (ANDRADE, 2004).

A literatura sobre o assunto apresenta diversas definições, segundo Arenales et al. (2007, p. VI):

[...] pesquisa operacional é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisão, tais como projetar, planejar e operar sistemas em situações que requerem alocações de recursos escassos.

Hillier e Lieberman (2006) mencionam que a PO envolve o planejamento e a coordenação de operações realizadas dentro de uma organização, buscando otimizar os recursos utilizados nestas operações para atingir o melhor resultado possível, o resultado ótimo.

A origem da pesquisa operacional remete-se aos anos da Segunda Guerra Mundial, quando despontou a necessidade de se alocar os escassos recursos de forma eficiente para otimizar as operações militares realizadas. Buscando como objetivo esta otimização, os exércitos norte-americano e britânico utilizaram pesquisadores no desenvolvimento e aplicação de métodos científicos nas operações militares; estas são consideradas as primeiras pesquisas de PO (HILLIER; LIEBERMAN, 2006; ARENALES et al., 2007; ANDRADE, 2004).

Foi mais precisamente em 1938 que surgiu a nomenclatura pesquisa operacional, quando o superintendente A. P. Rowe da Estação de Pesquisa Manor Bawdsey examinava a eficiência de técnicas de operações em um radar utilizado para interceptar e abater aviões inimigos (ARENALES et al., 2007).

Desde o período da Segunda Guerra Mundial, a PO desenvolveu-se tanto na área prática, com aplicações de suas técnicas principalmente dentro de organizações, quanto na área acadêmica, com pesquisas e desenvolvimento de diferentes técnicas e ferramentas como: o algoritmo simplex, criado por Dantzig em 1947, e frequentemente utilizado em programação linear; o método de pontos interiores, criado em 1984 por Narendra Karmarkar, também utilizado em programação linear; a simulação; a teoria das filas, entre outras técnicas.



Este grande desenvolvimento também é fruto do avanço da área computacional, principalmente devido ao avanço dos *hardwares*, que possibilitaram o aumento na quantidade de dados processados e maior rapidez no processamento dos mesmos. Além disso, a revolução do computador pessoal possibilitou o aumento no número de usuários de técnicas de PO, já que elas passaram a ficar ao alcance de qualquer pessoa que possuísse um computador pessoal. (HILLIER; LIEBERMAN, 2006)

Atualmente a pesquisa operacional é largamente utilizada dentro das organizações, sendo aproveitada em diversas áreas como: manufatura, distribuição e transportes; planejamento orçamentário e financeiro, etc.

A sua aplicação dentro das organizações busca otimizar a tomada de decisão. A PO utiliza-se de modelos matemáticos que permitem a experimentação; assim, uma decisão pode ser bem avaliada antes de ser implementada.

Morse e Kimball (1951) mencionam que a pesquisa operacional pode auxiliar os executivos das organizações na tomada de decisão, pois fornece uma base quantitativa para a decisão.

Hillier e Lieberman (2006) citam que a utilização da PO e de suas técnicas no estudo de uma situação real compreende um processo composto por seis fases distintas, que vão desde a definição do problema até a implementação do modelo formulado.

Shamblin e Stevens Jr. (1979, p. 13) afirmam que um estudo de pesquisa operacional começa “[...] descrevendo um sistema por intermédio de um modelo e depois manipula o modelo para descobrir o melhor modo de operar o sistema”

As seis fases de um estudo básico são: definição do problema e coleta de dados; formulação do modelo matemático; cálculo das soluções através do modelo; teste do modelo; preparação para aplicar o modelo; e implementação (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). (Figura 16)

As fases apresentadas na figura 16 são apenas um processo básico; sendo assim, a maioria das fases não segue regras fixas e definidas. Os procedimentos utilizados nelas dependem do tipo de problema enfrentado e do ambiente que o envolve (ANDRADE, 2004).

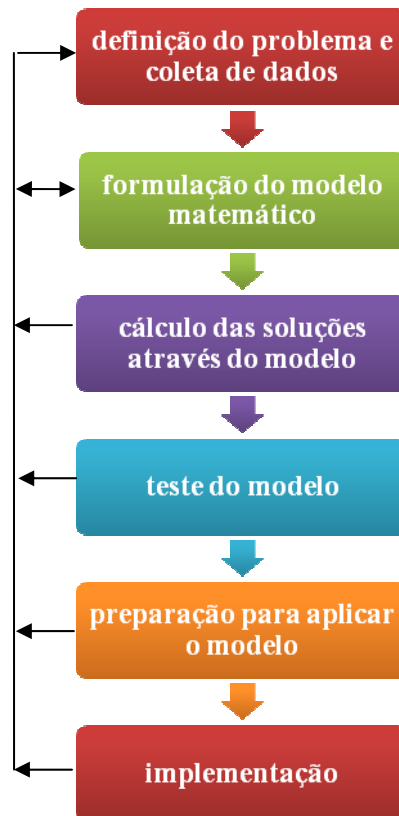


Figura 16 - Fases de um estudo de pesquisa operacional.

Fonte: “Adaptado de” Hillier e Lieberman, 2006, p. 8.

A etapa inicial de um estudo de pesquisa operacional é a definição do problema e a coleta de dados. A definição é uma das partes essenciais do estudo, pois se o problema for descrito erroneamente, dificilmente as soluções encontradas corresponderão às expectativas, não sendo de auxílio na tomada de decisão, ou até levando à tomada de decisão errada. Por isso, ela deverá ser feita conjuntamente com os tomadores de decisão, o que torna mais fácil captar quais os desejos, os objetivos e as necessidades dos executivos (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Na definição do problema deverão estar explícitos claramente os objetivos a serem alcançados, as alternativas existentes para alcançá-los, as limitações e restrições do sistema e as relações do sistema estudado com as demais áreas da organização (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A coleta de dados também pertence ao passo inicial de um estudo de PO; nesse procedimento, como o nome já diz, são coletados dados relevantes para o entendimento do problema (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A etapa seguinte à definição do problema e à coleta de dados é a formulação do modelo matemático que representará a essência da situação enfrentada de forma numérica, ou seja, através de equações e inequações matemáticas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Em um estudo de PO, o modelo utiliza variáveis de decisão para representar quantitativamente as decisões que deverão ser tomadas para se atingir os objetivos. Também é composto por uma função objetivo, que é a expressão matemática do objetivo do estudo e de seu relacionamento com as variáveis de decisão e pelas restrições que são limites impostos sobre possíveis valores que as variáveis de decisão podem atingir (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A terceira etapa de um estudo de pesquisa operacional é o cálculo das soluções; nessa etapa é aplicado algum algoritmo padrão de uma de suas diversas técnicas, como programação linear, para encontrar a solução ótima do modelo (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Esta solução será a melhor possível para o modelo idealizado, o que torna a formulação, etapa anterior a esta, extremamente importante, pois se o modelo não representar de forma satisfatória a situação real, a solução obtida na terceira etapa não servirá de auxílio para o tomador de decisão. O cálculo dos algoritmos geralmente é feito através de um computador, utilizando-se de *softwares* como o Lindo, a ferramenta *solver* do *Excel*, entre outros (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Após o cálculo, a fase seguinte é testar o modelo; essa etapa avalia o modelo tentando, assim, corrigir possíveis erros existentes. Esses erros podem acontecer devido à complexidade da situação modelada, que nem sempre consegue ser completamente sintetizada em uma primeira modelagem, podendo não possuir alguns fatores ou parâmetros relevantes para a exatidão ou para a representatividade do modelo (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Silva et al. (1998) destacam que uma maneira de testar e validar um modelo de PO é analisar o seu desempenho com dados passados e verificar se as soluções apresentadas estão de acordo com o sistema real modelado.

A quinta etapa mencionada por Hillier e Lieberman (2006) é a preparação para aplicar o modelo. Essa etapa ocorre somente se o modelo for ser utilizado repetitivamente. Se isso ocorrer, será necessário então a instalação de um sistema computacional que deverá incluir o modelo e os procedimentos de solução e de implementação. As organizações utilizam diversos tipos de sistemas computacionais, como o sistema de informações gerenciais e o sistema de apoio à decisão.

Implementar o modelo é a última etapa do processo; essa fase deve ser feita ou acompanhada pela equipe que desenvolveu o modelo para garantir que as soluções obtidas sejam transformadas corretamente em procedimentos operacionais (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A implementação pode ser dividida em várias etapas: primeiramente, a equipe que desenvolveu o modelo deve explicar de maneira simples, sem o uso de linguagens técnicas, o novo sistema; em seguida, a equipe, junto com a gerência, deve desenvolver procedimentos para colocar em prática as mudanças propostas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Na literatura de pesquisa operacional encontram-se livros e trabalhos como o de Andrade (2004) e o de Silva et al. (1998) que acrescentam outras fases de um estudo de PO. Porém, todos os processos apresentados são apenas modelos, já que “pela sua própria natureza, a PO requer considerável dose de engenhosidade e de inovação, de forma que é impossível colocar no papel qualquer procedimento padrão que sempre deve ser seguido pelas equipes de PO” (HILLIER; LIEBERMAN, 2006, p. 22).

A pesquisa operacional, como mencionado anteriormente, é uma área do conhecimento composta por diversas técnicas, dentre as quais se destacam: a programação linear, a programação não-linear, a teoria das filas, a simulação, etc.

A programação linear é uma técnica matemática que envolve o planejamento de atividades que competem entre si pela utilização de recursos escassos para se obter um resultado ótimo de acordo com a função objetivo e as restrições definidas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006). Esta técnica será a base para o modelo proposto neste estudo, ela será mais detalhada no decorrer do trabalho.

A programação não-linear segue os mesmos princípios da linear, utilizando os mesmos conceitos de função objetivo, restrições e variáveis de decisão. Porém, esta técnica envolve a resolução de atividades e funções que possuem relações desproporcionais entre si, ou seja, que não são lineares, para isto lança mão de diversos tipos algoritmos matemáticos, como os de programação quadrática, programação convexa, programação não-convexa, programação geométrica, entre outros procedimentos que foram desenvolvidos para solucionar os diferentes problemas de programação não-linear (CORRAR; THEÓPHILO, 2004; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A teoria das filas é uma técnica desenvolvida por Erlang que, através de modelos, fornece subsídios para tratar de problemas de congestionamento de sistemas que possuem clientes solicitando serviços limitados por restrições do próprio sistema (ANDRADE, 2004).

A simulação, quando empregada na pesquisa operacional, tem sua origem no estudo dos autores Von Neumann e Ulam, que associaram a análise de Monte Carlo a uma técnica matemática, utilizando-a na resolução de problemas de blindagem em reatores nucleares (ANDRADE, 2004).

Esta técnica é utilizada para reproduzir determinada situação real através de um modelo matemático. Com o seu uso é possível alterar os parâmetros do modelo e analisar os resultados obtidos, verificando como essas alterações afetarão o desempenho do sistema (ANDRADE, 2004).

Existem ainda outras técnicas de pesquisa operacional que podem ser utilizadas para auxiliar a tomada de decisão em uma organização, Hillier e Lieberman (2006), Arenales et al. (2007), Taha (2008), Andrade (2004), Ackoff e Sasieni (1977) e Silva et al. (1998) apresentam mais detalhadamente as técnicas utilizadas na PO.

#### 2.4.3 - Programação linear

A programação linear (PL) é a técnica matemática que servirá como base para o modelo proposto neste estudo.

Segundo Hillier e Lieberman (2006, p. 25) a PL “[...] envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo, isto é, um resultado que melhor atinja objetivo especificado (de acordo com o modelo matemático) entre todas as alternativas viáveis”.

Souza e Manfrinato (2007) citam que a PL é uma ferramenta matemática simples utilizada em situações nas quais o objetivo é maximizar o lucro ou minimizar os custos.

O desenvolvimento do conceito de programação linear está diretamente relacionado ao de pesquisa operacional, possuindo como marco inicial os estudos ocorridos nos anos 30 do século XX.

Em 1947, George Dantzig apresentou o algoritmo simplex, o qual se tornou um dos principais métodos de resolução de problemas de programação linear devido a sua simplicidade e eficiência, sendo aplicado até hoje na resolução de problemas de diversas áreas (ARENALES et al., 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Durante as décadas seguintes outros estudos importantes relacionados à PL foram publicados, como: o de Klee e Minty, publicado em 1972, que estimulou o desenvolvimento de um método com desempenho polinomial; o de Khanchian, publicado em 1978, que tratava

do Método de Elipsóides e o de Narendra Karmarkar, publicado em 1984, que propunha o método de pontos interiores, algoritmo aplicado na resolução de problemas de PL com dimensões enormes, porém, com uma metodologia de resolução diferente do método simplex (ARENALES et al., 2007; CUNHA, 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A programação linear, como o próprio nome já diz, é uma técnica, uma ferramenta da área de pesquisa operacional que envolve equações lineares, sendo muito utilizada pelas organizações em tarefas como: na organização de transportes e distribuição; na determinação de política de estoques; no estudo de fluxo de caixa e investimentos; na determinação do *mix* de produção, entre outros (ANDRADE, 2004; CORRAR; THEÓPHILO, 2004). Ela é uma técnica utilizada para o suporte de decisões que possui o objetivo de maximizar os lucros ou minimizar as perdas.

Todos os modelos criados para a PL podem ser descritos a partir de uma forma padrão, sem perder sua generalidade, seus métodos e suas propriedades (ARENALES et al., 2007).

A forma padrão utilizada neste estudo é apresentada por Hillier e Lieberman (2006), Para os autores a forma padrão é a seguinte:

$$\text{Maximizar } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad \dots(1)$$

$$\text{Sujeito a: } \begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\ x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0 \dots \dots \dots x_n \geq 0 \end{cases} \quad \dots(2)$$

Na forma padrão apresentada: a variável  $Z$  representa o valor da medida de desempenho total;  $x_j$  é o nível de atividade  $j$ , sendo que  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $c_j$  é o incremento em  $Z$ , o qual resulta do acréscimo unitário do nível de atividade  $j$ ;  $b_i$  é a quantidade de recurso  $i$  disponível para alocação nas atividades; e  $a_{ij}$  é a quantidade de recurso  $i$  consumido por unidades de atividade  $j$ .

Nesta forma padrão é possível identificar a função objetivo, que é a função matemática  $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$ , que será maximizada. Também é possível identificar dois tipos de restrições: as restrições funcionais, que são representadas pela função  $a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$ ; e as restrições de não-negatividade, que podem ser identificadas pela função  $x_n \geq 0$ .

A função objetivo e as restrições utilizadas na forma padrão apresentam algumas variações dependendo da situação que irá ser modelada e do objetivo a ser atingido por este modelo (ARENALES et al., 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

A função objetivo pode ser minimizada em vez de maximizada, já as restrições funcionais podem apresentar variações representando uma igualdade a um determinado valor ou uma desigualdade do tipo maior ou igual a determinado valor, em vez da desigualdade do tipo menor ou igual apresentada (ARENALES et al., 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Como exposto anteriormente, os modelos de programação linear são utilizados para diversos fins dentro de uma organização.

Para se desenvolver um modelo representando uma situação real é necessário seguir algumas etapas: a primeira delas consiste em definir o objetivo do modelo, de acordo com o objetivo básico que se quer alcançar, como por exemplo, a maximização do lucro, a maximização do desempenho da produção, a minimização dos custos de produção; a segunda etapa é definir as variáveis de decisão, determinando quais variáveis serão incluídas no modelo; a terceira fase é a definição da função objetivo; a quarta consiste na definição das restrições do problema de acordo com a modelagem da realidade; as últimas etapas no desenvolvimento de um modelo de PL são a resolução do modelo e a análise dos resultados.

O desenvolvimento de um modelo de programação linear deve seguir uma hipótese principal, a da linearidade (ARENALES et al., 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Hillier e Lieberman (2006) citam quatro hipóteses que devem ser verificadas para garantir a linearidade do modelo. Essas hipóteses devem ser obedecidas pelas grandezas envolvidas para, assim, verificar e assegurar a linearidade da função objetivo e das restrições do modelo.

As quatro hipóteses elencadas são: proporcionalidade, aditividade, divisibilidade e certeza (Figura 17).

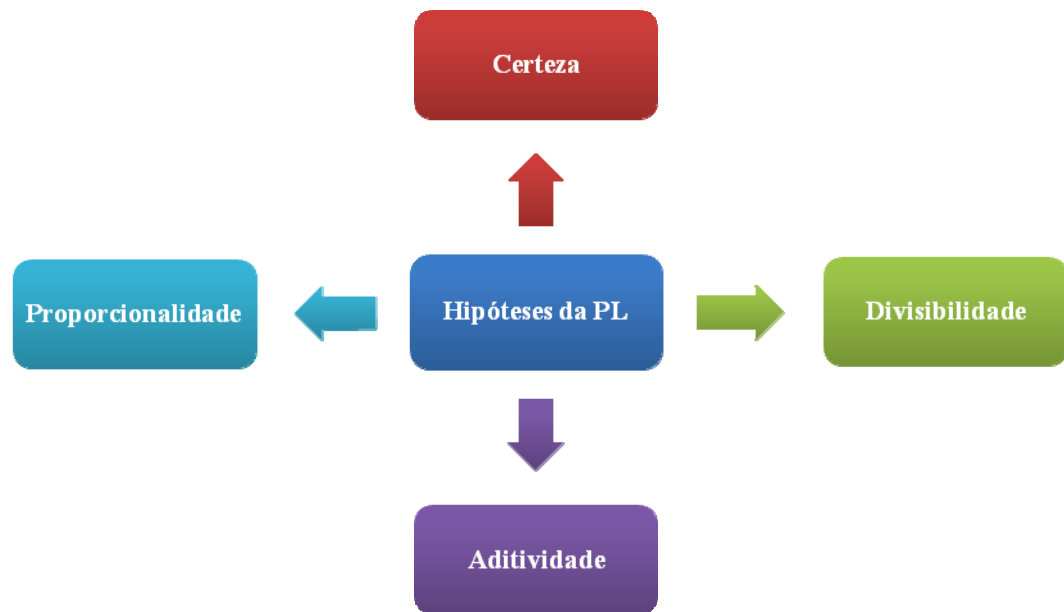


Figura 17 - Hipóteses da programação linear

Fonte: “Adaptado de” Hillier e Lieberman, 2006, p. 37.

A hipótese da proporcionalidade pressupõe que a contribuição de cada atividade à função  $Z$  é proporcional ao nível de atividade  $x_j$ , sendo assim, a função objetivo se altera proporcionalmente de acordo com uma variação nas variáveis de decisão (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Já a hipótese de aditividade pressupõe que o todo é igual a soma das partes, ou seja, que a função em um modelo de programação linear é resultado da soma das contribuições de cada atividade (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Segundo a hipótese de divisibilidade, os valores utilizados em um modelo de programação linear não precisam ser inteiros, podendo ser valores fracionários, desde que sejam positivos (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Por fim, a hipótese da certeza pressupõe que os valores atribuídos aos parâmetros do modelo devem ser totalmente conhecidos, assumindo-se assim que as incertezas relacionadas a estes parâmetros foram eliminadas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Essas hipóteses nem sempre conseguem ser sustentadas completamente em um modelo de programação linear. Caso alguma delas for desobedecida completamente deve-se utilizar outras técnicas de pesquisa operacional que se adaptem melhor à realidade e que possam apresentar melhores resultados (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).



### 3 - MODELO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o modelo de programação linear proposto. Inicialmente são feitas algumas considerações, com o objetivo de contextualizar a situação na qual o modelo pode ser aplicado. Em seguida são expostas a função objetivo, as restrições e as variáveis do modelo.

#### 3.1 - Considerações iniciais

Conforme se mostrou no capítulo 2, o ambiente de negócios enfrentado pelas organizações atualmente caracteriza-se pela alta competitividade dos mercados e pelo aumento do nível de exigência do consumidor. Assim como pelo ciclo de vida reduzido dos produtos, o crescimento e a internacionalização das organizações, a consolidação da prática de fornecimento global e os avanços tecnológicos (CHRISTOPHER, 1999; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

Nesta situação, as práticas organizacionais de otimização dos processos internos não são mais suficientes para garantir a lucratividade das organizações. Práticas como a produção enxuta, o gerenciamento da qualidade total, o *just-in-time* passaram a ser usadas pela maioria das organizações, o que fez com que perdessem seu diferencial, tornando-se ineficazes para alavancar a lucratividade das organizações (SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

Neste contexto, onde somente a eficiência interna não é suficiente para enfrentar as condições impostas pelo mercado, as organizações precisaram direcionar suas atenções para as suas cadeias de suprimentos.

Percebeu-se a possibilidade de aumentar a lucratividade, elevando a eficiência de todos os participantes e de todos os processos ocorridos na cadeia de suprimentos.

Christopher (1999) diz que as empresas pertencentes a uma cadeia de suprimentos devem desenvolver estratégias para otimizar os processos internos e externos, pois uma vantagem competitiva real só será obtida quando o fluxo dessa cadeia for mais eficiente e eficaz que a dos concorrentes.

A gestão da cadeia de suprimentos, conforme descrito no capítulo 2, busca a integração e a coordenação dos processos-chave de negócios ao longo da CS (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998; LAMBERT; COOPER, 2000; CROXTON et al., 2001; LAMBERT, 2004).

Bowersox e Closs (2001, pág. 408) afirmam que “[...] a integração com fornecedores de materiais e prestadores de serviços é importante para serem alcançadas as vantagens plenas de uma empresa.”. De acordo com Hilsdorf (2007), a integração dos processos entre os membros da cadeia de suprimentos está correlacionada com a eficiência e a eficácia da mesma.

O fluxo de informação é um dos elementos necessários para a integração de processos. Lambert, Cooper e Pagh (1998) identificaram nove componentes gerenciais que influenciam diretamente o nível de integração dos processos da cadeia, dentre eles está o fluxo de informação.

A informação e o seu compartilhamento, como mencionado no capítulo 2, são essenciais para o sucesso da cadeia de suprimentos. Através de informações oriundas de todos os membros da cadeia é possível tomar decisões que mensurem fatores de todos os elos, e assim otimizar o resultado global da cadeia de suprimentos (CHOPRA; MEINDL, 2003; BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

Porém, apesar do compartilhamento de informação possibilitar melhores resultados para a cadeia, algumas empresas relutam em trocar informações. Um dos fatores que dificultam esse compartilhamento é a falta de confiança (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

As organizações possuem receio em compartilhar informações, sigilosas ou não, que possam ser utilizadas pelas concorrentes para obter vantagens sobre as mesmas organizações (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006).

Em uma cadeia de suprimentos podem existir diversos tipos de relacionamentos entre empresas, incluindo as parcerias. Essas, como descrito no capítulo 2, baseiam-se principalmente na confiança mútua entre as organizações, possibilitando assim o compartilhamento de informações (LAMBERT; EMMELHAINZ; GARDNER, 1996; COSTA; RODRIGUES; LADEIRA, 2005).

Este estudo apresenta um modelo de programação linear, o qual utiliza as informações e os dados compartilhados entre os parceiros da cadeia de suprimento para auxiliar o processo de tomada de decisão em diversas situações ocorridas na cadeia.

O modelo tem como objetivo auxiliar as decisões tomadas na cadeia de suprimentos, buscando a maximização do lucro total durante um dado horizonte de planejamento em situações de variação de demanda e/ou de capacidade.

Um sistema de apoio à decisão, como tratado no capítulo 2, pode incorporar este ou outro tipo de modelo matemático para ajudar os tomadores de decisão na resolução das situações relacionadas com a cadeia de suprimentos (SRAGUE; WATSON, 1991; STAIR; REYNOLDS, 2002; SIMCHI-LEVI; KAMINSKY; SIMCHI-LEVI, 2003).

Em sua estrutura básica, o SAD utiliza os dados contidos em um banco de dados, os processa através de um modelo e apresenta o resultado para os tomadores de decisão através de uma *interface* (SPRAGUE; WATSON, 1991).

Os tomadores de decisão utilizam, além dos resultados obtidos através do modelo, seu estilo gerencial e suas capacidades pessoais como intuição e conhecimento para optar pela melhor decisão na solução de determinada situação (SPRAGUE; WATSON, 1991; MARAKAS, 1999).

### **3.2 - Descrição do modelo proposto**

O modelo matemático proposto é estruturado nos princípios da programação linear. Ele foi desenvolvido a partir do apresentado por Massote e Nogueira Neto (2007).

A pesquisa operacional, como mencionado no capítulo 2, é uma área do conhecimento composta por diversas técnicas matemáticas que são utilizadas para dar suporte aos tomadores de decisões nas mais diversas situações (ARENALES et al., 2007; HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Dentre estas situações estão às relacionadas com a cadeia de suprimento, como: o planejamento de produção, a alocação e gerenciamento de estoques, o planejamento de distribuição, entre outras ocasiões que requerem decisões relacionadas à gestão de recursos escassos (ARENALES et al., 2007; ANDRADE, 2004).

A programação linear, uma das técnicas de PO, “[...] envolve o planejamento de atividades para obter um resultado ótimo [...]” (HILLIER; LIEBERMAN, 2006, p. 25).

Neste estudo, o modelo de programação linear será utilizado para encontrar um resultado ótimo dentre os possíveis em uma situação relacionada com a cadeia de suprimentos, servindo de apoio aos tomadores de decisão.

Como visto no capítulo 2, um modelo de programação linear em sua forma padrão é constituído por uma função objetivo, diversas restrições e variáveis relacionadas com a situação modelada. O modelo deste estudo apresenta a seguinte função objetivo:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^n MC_{jk} * Dr_{jk} - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^o \sum_{k=1}^n C_{ijk} * E_{ijk} \quad \dots(1)$$

Sujeita as seguintes restrições:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{ijk} + E_{ijk} \leq Cap_{ijk} \quad i=1....m \quad j=1....o \quad k=1....n \\ Q_{(i-1)jk} * P_{ijk} + Q_{(i-1)jk} * E_{ijk} = P_{(i-1)jk} * E_{(i-1)j(k-1)} \quad i=1....m \quad j=1....o \quad k=1....n \\ Dr_k = P_{(i-1)jk} + E_{(i-1)j(k-1)} \quad i=1....m \quad j=1....o \quad k=1....n \\ Dr_k = \sum_{j=1}^o Dr_{jk}; \quad j=1....o \quad k=1....n \\ Dr_{jk} \leq D_{jk} \quad j=1....o \quad k=1....n \end{array} \right. \quad \dots(2)$$

As variáveis do modelo podem ser divididas em variáveis de entrada e de saída. As variáveis de entrada são:

- $D_{jk}$  = Demanda prevista para o consumidor “j” no período “k”;
- $Cap_{ijk}$  = Capacidade da organização “j” pertencente ao elo “i” no período “k”;
- $MC_{jk}$  = Margem de contribuição do produto para o consumidor “j” no período “k”;
- $C_{ijk}$  = Custo de estocagem da organização “j” pertencente ao elo “i” no período “k”;
- $Q_{ijk}$  = Quantidade de produtos utilizados da organização “j” pertencente ao elo “i” no período “k”;
- $m$  = Quantidade de elos que a cadeia de suprimentos possui;

- $n$  = Número de períodos planejados;
- $o$  = Quantidade de organizações em determinado elo da cadeia de suprimentos;

As variáveis de saída são:

- $E_{ijk}$  = Quantidade a ser produzida pela organização “j” pertencente ao elo “i” no período “k” para ser estocada;
- $P_{ijk}$  = Quantidade a ser produzida pela organização “j” pertencente ao elo “i” no período “k” para suprir a demanda no mesmo período;
- $Dr_k$  = Demanda realmente atendida no período “k”;
- $Dr_{jk}$  = Demanda realmente atendida do consumidor “j” no período “k”.

## 4 - APLICAÇÕES DO MODELO PROPOSTO

Neste capítulo, o modelo de programação linear proposto é aplicado em diversas situações que podem ocorrer em uma cadeia de suprimentos hipotética. Para levar a cabo tal empreendimento, utiliza-se o programa computacional Lindo (*Linear Interactive and Discrete Optimizer*).

### 4.1 - Descrição da cadeia de suprimentos hipotética

A cadeia de suprimentos hipotética é constituída por cinco elos distintos, com diferentes organizações em cada elo. A figura 18, a seguir, ilustra esta cadeia:

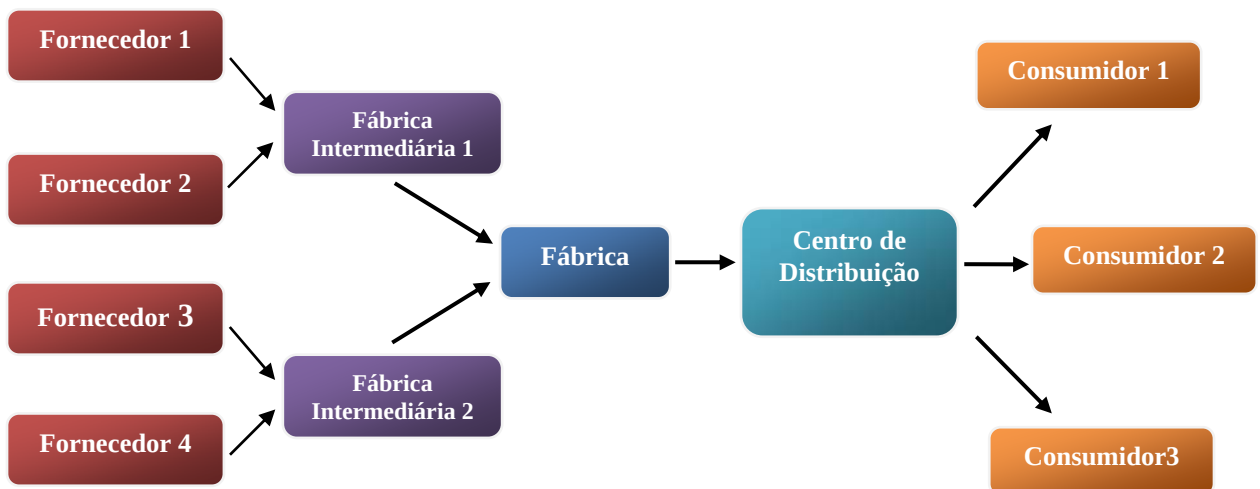


Figura 18 - Ilustração da cadeia de suprimentos modelada

Fonte: Autor.

#### 4.1.1 - Condições iniciais da cadeia de suprimentos hipotética

O primeiro elo da cadeia de suprimentos é composto por quatro diferentes fornecedores que provêm seus produtos para duas fábricas intermediárias. Esses

fornecedores são divididos em dois grupos, cada um abastecendo exclusivamente uma fábrica. Eles possuem a capacidade de fornecer e estocar até 800 produtos em cada período.

As fábricas intermediárias, próximo elo da cadeia de suprimentos, necessitam de dois produtos de cada fornecedor para produzir um produto novo, ou seja, a fábrica intermediária 1 necessita de quatro produtos no total, dois do fornecedor 1 e dois do fornecedor 2. As duas fábricas intermediárias possuem capacidades iguais: cada uma pode produzir e estocar até 400 produtos por período.

Uma fábrica está alocada no terceiro elo da cadeia de suprimentos. Ela possui uma capacidade máxima de produção e estocagem de 190 produtos por período, sendo que para cada novo produto fabricado são necessários dois produtos oriundos de cada fábrica intermediária.

O quarto elo é formado por um centro de distribuição (CD), que possui uma capacidade máxima de manuseio de 200 produtos por período.

A tabela 1, na sequência, mostra as capacidades máximas de fornecimento, produção e estocagem de cada organização envolvida nessa cadeia de suprimentos por período.

Tabela 1 - Capacidades das organizações pertencentes à cadeia de suprimentos.

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>2º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>3º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>4º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>6º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

Todos os elos da cadeia mencionados possuem capacidade de estocar uma determinada quantidade de produtos, possibilitando assim um planejamento de longo prazo. Contudo, a estocagem dos produtos gera um custo para as organizações.

O modelo proposto considera as variações de custos por período e organização. Nesta cadeia de suprimentos, os custos de armazenagem variam a cada elo, apresentando um crescimento do primeiro até o quarto. Eles podem ser visualizados na tabela 2, a seguir:

Tabela 2 - Custos de armazenagem ao longo da cadeia de suprimentos.

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 2,00                    | 2,00                    | 4,00    | 4,00                   |
| <b>2º Período</b> | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 2,00                    | 2,00                    | 4,00    | 4,00                   |
| <b>3º Período</b> | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 2,00                    | 2,00                    | 4,00    | 4,00                   |
| <b>4º Período</b> | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 2,00                    | 2,00                    | 4,00    | 4,00                   |
| <b>5º Período</b> | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 2,00                    | 2,00                    | 4,00    | 4,00                   |
| <b>6º Período</b> | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 1,00         | 2,00                    | 2,00                    | 4,00    | 4,00                   |

Fonte: Autor.

O último elo da cadeia de suprimentos hipotética é composto por três consumidores diferentes. As demandas para o produto final variam de acordo com o consumidor e no decorrer do tempo. Essas demandas estão expostas na tabela 3, abaixo:

Tabela 3 - Demandas dos consumidores

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 65                    | 60 | 65 | 190           |
| <b>2º Período</b> | 60                    | 66 | 64 | 190           |
| <b>3º Período</b> | 61                    | 63 | 66 | 190           |
| <b>4º Período</b> | 64                    | 64 | 62 | 190           |
| <b>5º Período</b> | 63                    | 65 | 62 | 190           |
| <b>6º Período</b> | 66                    | 63 | 61 | 190           |

Fonte: Autor.

O produto fabricado através dessa cadeia de suprimentos possui uma margem de contribuição diferenciada para cada consumidor, também variando de acordo com o período. Os valores da margem de contribuição para cada consumidor por período podem ser visualizados na tabela 4, que segue:



Tabela 4 - Margens de contribuição

| Períodos          | Consumidor 1 | Consumidor 2 | Consumidor 3 |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>1º Período</b> | 37,00        | 41,00        | 42,00        |
| <b>2º Período</b> | 36,00        | 40,00        | 44,00        |
| <b>3º Período</b> | 38,00        | 42,00        | 40,00        |
| <b>4º Período</b> | 39,00        | 42,00        | 39,00        |
| <b>5º Período</b> | 43,00        | 39,00        | 38,00        |
| <b>6º Período</b> | 40,00        | 41,00        | 39,00        |

Fonte: Autor.

## 4.2 - Cenários

O modelo proposto é utilizado com o objetivo de auxiliar as decisões dessa cadeia de suprimentos. Para tanto, ele é aplicado em diferentes cenários a fim de demonstrar sua efetividade diante de determinadas situações.

Os cenários foram definidos a partir de variações das demandas e das capacidades. Todos partem da premissa de que os estoques iniciais e os finais das organizações envolvidas são iguais a zero. Embora o modelo permita que se considere qualquer quantidade de estoque inicial, bem como nos outros períodos, sendo respeitadas as capacidades máximas das organizações em cada período.

### 4.2.1 - Cenário 1

O cenário 1 simula uma situação na qual a demanda total prevista é igual à capacidade da fábrica em todos os períodos considerados. Possui como objetivo validar o modelo, verificando se o mesmo otimizaria a cadeia nessa situação.

Nessa cadeia de suprimentos hipotética, a fábrica é o elo que limita a capacidade máxima que será produzida por período. Assim, espera-se que a produção final em todos os períodos seja igual à capacidade da fábrica, atendendo toda a demanda prevista. (Gráfico 1)

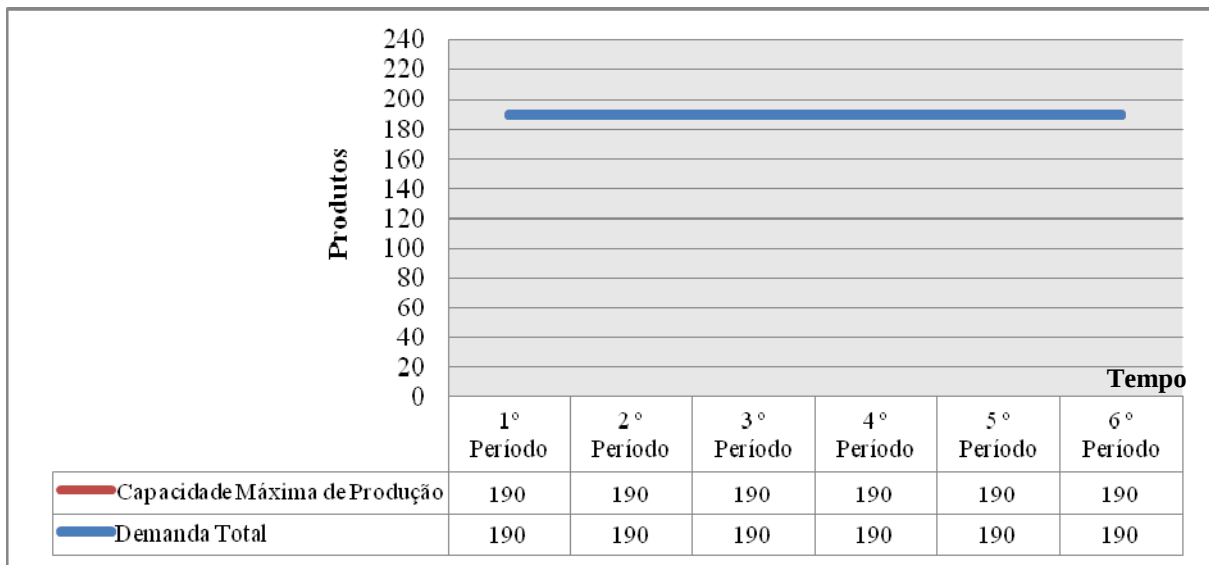


Gráfico 1 - Representação das demandas do cenário 1 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Os dados utilizados nesse cenário estão expostos nas tabelas 1, 2 e 4. As demandas são as apresentadas na tabela 3.

#### 4.2.1.1 - Resultados do cenário 1

Os dados de demanda, capacidade, custo de estocagem e margem de contribuição do cenário 1 foram aplicados no modelo de programação linear proposto por este estudo.

Com a utilização do programa computacional Lindo, o modelo foi resolvido; constatou-se que esta cadeia de suprimentos poderia obter um lucro de:

$$\text{Lucro Total} = 45.619,00 \quad \dots(3)$$

Para atingir esse lucro todas as demandas dos consumidores deveriam ser atendidas, conforme mostra a tabela 5, a seguir:

Tabela 5 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 1

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 65                    | 60 | 65 | 190           |
| <b>2º Período</b> | 60                    | 66 | 64 | 190           |
| <b>3º Período</b> | 61                    | 63 | 66 | 190           |
| <b>4º Período</b> | 64                    | 64 | 62 | 190           |
| <b>5º Período</b> | 63                    | 65 | 62 | 190           |
| <b>6º Período</b> | 66                    | 63 | 61 | 190           |

Fonte: Autor.

Essas demandas deveriam ser atendidas pela produção ocorrida na cadeia de suprimentos. Cada organização dessa cadeia poderia produzir para atender à demanda daquele período ou produzir para estoque. Assim, por exemplo, o fornecedor poderia fornecer uma quantidade de produtos para a fábrica intermediária e estocar uma quantidade de produtos para atender uma demanda futura.

A tabela 6, que é mostrada na sequência, apresenta as quantidades de produtos que deveriam ser produzidos para venda em cada organização dessa cadeia de suprimentos. Neste cenário não haveria a necessidade de produzir para estoque.

Tabela 6 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 1

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>2º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>3º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>4º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>5º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>6º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |

Fonte: Autor.

O modelo empregado, no formato utilizado no programa Lindo, bem como todos os resultados obtidos para este cenário, encontram-se no apêndice A.

#### 4.2.2 - Cenário 2

No cenário 2 simula-se um aumento no total da demanda prevista por período em relação às utilizadas no primeiro cenário. Esse aumento resulta em um acréscimo nas demandas individuais dos consumidores pelo produto final produzido nessa cadeia de suprimentos.

Considera-se um aumento de 10% nas demandas totais previstas, fazendo com que elas sejam superiores às capacidades máximas de produção da cadeia em todos os períodos. (Gráfico 2)

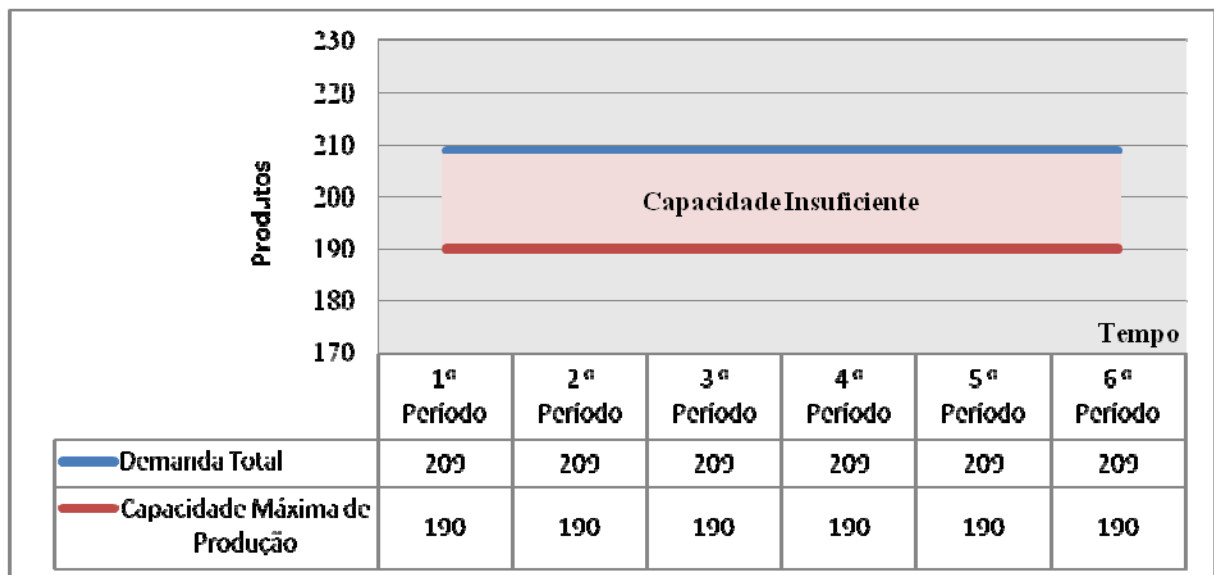


Gráfico 2 - Representação da demanda do cenário 2 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Utilizando-se o modelo proposto espera-se o atendimento máximo dos consumidores que levariam a maximização do lucro.

Os dados utilizados nesse cenário encontram-se nas tabelas 1, 2 e 4. As demandas usadas estão expostas na tabela 7, abaixo:

Tabela 7 - Demandas dos consumidores no cenário 2

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 71                    | 66 | 72 | 209           |
| <b>2º Período</b> | 66                    | 73 | 70 | 209           |
| <b>3º Período</b> | 67                    | 69 | 73 | 209           |
| <b>4º Período</b> | 70                    | 71 | 68 | 209           |
| <b>5º Período</b> | 69                    | 72 | 68 | 209           |
| <b>6º Período</b> | 73                    | 69 | 67 | 209           |

Fonte: Autor.

## 4.2.2.1 - Resultados do cenário 2

Todos os dados do segundo cenário foram aplicados no modelo de programação linear. Após a resolução do modelo obteve-se que esta cadeia de suprimentos poderia gerar um lucro de:

$$\text{Lucro Total} = 45.869,00 \quad \dots(4)$$

Para se obter este lucro seria necessário atender a uma determinada quantidade das demandas dos consumidores dessa cadeia de suprimentos. A tabela 8, em seguida, apresenta as demandas que seriam atendidas de cada consumidor em cada período.

Tabela 8 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 2

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 52                    | 66 | 72 | 190           |
| <b>2º Período</b> | 47                    | 73 | 70 | 190           |
| <b>3º Período</b> | 48                    | 69 | 73 | 190           |
| <b>4º Período</b> | 70                    | 71 | 49 | 190           |
| <b>5º Período</b> | 69                    | 72 | 49 | 190           |
| <b>6º Período</b> | 73                    | 69 | 48 | 190           |

Fonte: Autor.

Para atender essas demandas deveria se produzir uma determinada quantidade de produtos. Neste cenário, toda a produção seria utilizada para suprir a demanda do mesmo

período; assim, não se fabricaria nenhum produto para ser estocado. A tabela 9, apresentada na sequência, mostra as quantidades que deveriam ser produzidas em cada organização por período.

Tabela 9 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 2

| Períodos   | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 2º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 3º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 4º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 5º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 6º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |

Fonte: Autor.

#### 4.2.3 - Cenário 3

No cenário 3 se representa uma queda na demanda total prevista para todos os períodos. Considera-se um decréscimo de 10% na demanda em relação ao cenário 1. (Gráfico 3)

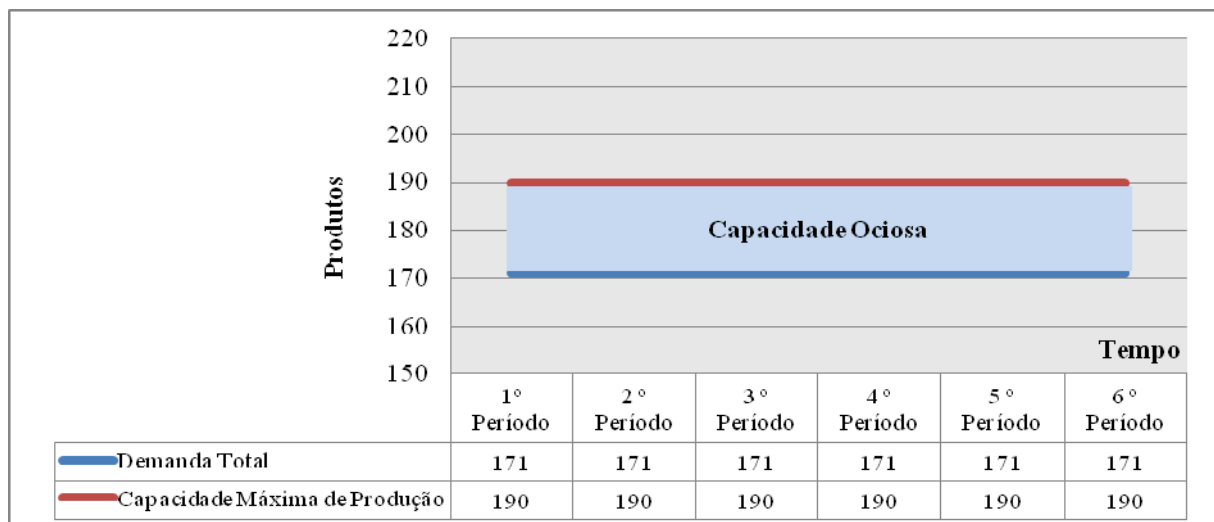


Gráfico 3 - Representação das demandas do cenário 3 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Nesse cenário a demanda é inferior à capacidade de produção da cadeia de suprimentos; assim, espera-se que as demandas dos três diferentes consumidores sejam plenamente atendidas.

No cenário 3 são utilizados os mesmos dados que nos cenários anteriores, exceto pelas demandas. Esses dados estão expostos na tabela 1, 2 e 4. As demandas são apresentadas na tabela 10, logo abaixo:

Tabela 10 - Demandas dos consumidores no cenário 3

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 59                    | 54 | 58 | 171           |
| <b>2º Período</b> | 54                    | 59 | 58 | 171           |
| <b>3º Período</b> | 55                    | 57 | 59 | 171           |
| <b>4º Período</b> | 58                    | 57 | 56 | 171           |
| <b>5º Período</b> | 57                    | 58 | 56 | 171           |
| <b>6º Período</b> | 59                    | 57 | 55 | 171           |

Fonte: Autor.

#### 4.2.3.1 - Resultados do cenário 3

Neste cenário, com a aplicação do modelo proposto, poderia se alcançar um lucro para a cadeia de suprimentos no valor de:

$$\text{Lucro Total} = 41.056,00 \quad \dots(5)$$

As demandas que seriam realmente atendidas de cada consumidor estão expostas na tabela 11, que segue:

Tabela 11 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 3

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 59                    | 54 | 58 | 171           |
| <b>2º Período</b> | 54                    | 59 | 58 | 171           |
| <b>3º Período</b> | 55                    | 57 | 59 | 171           |
| <b>4º Período</b> | 58                    | 57 | 56 | 171           |
| <b>5º Período</b> | 57                    | 58 | 56 | 171           |
| <b>6º Período</b> | 59                    | 57 | 55 | 171           |

Fonte: Autor.

As quantidades que deveriam ser produzidas em cada organização para atender essas demandas estão expostas na tabela 12, logo abaixo. Neste cenário, todos os produtos seriam fabricados para suprir as demandas do mesmo período; assim, não haveria estoque.

Tabela 12 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 3

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
| <b>2º Período</b> | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
| <b>3º Período</b> | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
| <b>4º Período</b> | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
| <b>5º Período</b> | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
| <b>6º Período</b> | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |

Fonte: Autor.

#### 4.2.4 - Cenário 4

O cenário 4 simula uma situação na qual a demanda total prevista para o produto fabricado pela cadeia de suprimentos hipotética cresce no decorrer do tempo.



Nesse cenário a demanda inicial é 10% inferior à capacidade máxima de produção da cadeia. No decorrer do tempo ela cresce e ultrapassa em 10% a capacidade. Assim, a situação ilustrada representa um crescimento contínuo da demanda. (Gráfico 4)

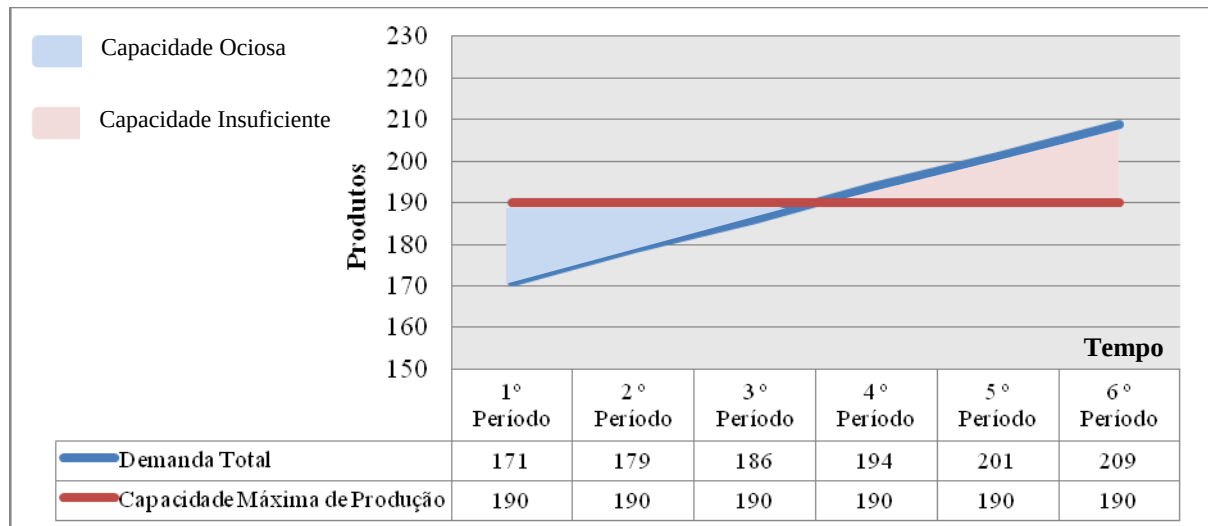


Gráfico 4 - Representação das demandas do cenário 4 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Nessa situação espera-se que o modelo determine uma quantidade ótima de produtos para serem produzidos e estocados nos períodos em que a demanda é menor que a capacidade, a fim de atender a demanda dos períodos futuros e, desse modo, maximizar o lucro da cadeia de suprimentos.

No cenário 4 são utilizados os dados apresentados nas tabelas 1, 2 e 4. As demandas utilizadas encontram-se na tabela 13, abaixo:

Tabela 13 - Demandas dos consumidores no cenário 4

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 59                    | 54 | 58 | 171           |
| <b>2º Período</b> | 56                    | 63 | 60 | 179           |
| <b>3º Período</b> | 60                    | 62 | 64 | 186           |
| <b>4º Período</b> | 65                    | 65 | 64 | 194           |
| <b>5º Período</b> | 67                    | 68 | 66 | 201           |
| <b>6º Período</b> | 73                    | 69 | 67 | 209           |

Fonte: Autor.

#### 4.2.4.1 - Resultados do cenário 4

Após a resolução com o modelo proposto, obteve-se que esta cadeia de suprimentos poderia gerar um lucro no valor de:

$$\text{Lucro Total} = 45.089,00 \quad \dots(6)$$

Para atingir esse lucro deveria ser fabricada uma quantidade de produtos para atender a demanda no mesmo período de sua fabricação e uma quantidade para ser estocada.

A tabela 14, trazida em sequência, apresenta as quantidades de produtos que deveriam ser fabricados em cada organização para atender a demanda no mesmo período de sua fabricação. Já a tabela 15, adiante, mostra a quantidade de produtos que deveriam ser produzidos e estocados em cada organização

Tabela 14 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 4

| Períodos              | Fornecedor<br>1 | Fornecedor<br>2 | Fornecedor<br>3 | Fornecedor<br>4 | Fábrica<br>Intermediária<br>1 | Fábrica<br>Intermediária<br>2 | Fábrica | Centro de<br>Distribuição |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|---------------------------|
| <b>1º<br/>Período</b> | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 171                       |
| <b>2º<br/>Período</b> | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 160                       |
| <b>3º<br/>Período</b> | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 156                       |
| <b>4º<br/>Período</b> | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 180     | 160                       |
| <b>5º<br/>Período</b> | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 181                       |
| <b>6º<br/>Período</b> | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 190                       |

Fonte: Autor.

Tabela 15 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 4

| Períodos               | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica   | Centro de Distribuição |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-----------|------------------------|
| <b>Período Inicial</b> | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | 0                      |
| <b>1º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | <b>19</b>              |
| <b>2º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | <b>30</b>              |
| <b>3º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | <b>34</b>              |
| <b>4º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | <b>10</b> | <b>20</b>              |
| <b>5º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | <b>19</b>              |
| <b>6º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | 0                      |

Fonte: Autor.

Essa produção possibilitaria atender uma determinada quantidade das demandas de cada consumidor. A tabela 16, a seguir, expõe as demandas que seriam realmente atendidas nesse cenário.

Tabela 16 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 4

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 59                    | 54 | 58 | 171           |
| <b>2º Período</b> | 56                    | 63 | 60 | 179           |
| <b>3º Período</b> | 60                    | 62 | 64 | 186           |
| <b>4º Período</b> | 65                    | 65 | 64 | 194           |
| <b>5º Período</b> | 67                    | 68 | 66 | 201           |
| <b>6º Período</b> | 73                    | 69 | 67 | 209           |

Fonte: Autor.

#### 4.2.5 - Cenário 5

No cenário 5 simula-se um decréscimo da demanda, ou seja, a demanda total prevista diminui ao longo do tempo.

Esse cenário utiliza os mesmos dados do quarto, porém, nesta ocasião, a demanda inicial é 10% superior à capacidade máxima de produção da cadeia de suprimentos. Com o passar do tempo, essa demanda diminui de maneira contínua até atingir um nível 10% inferior à capacidade. (Gráfico 5)

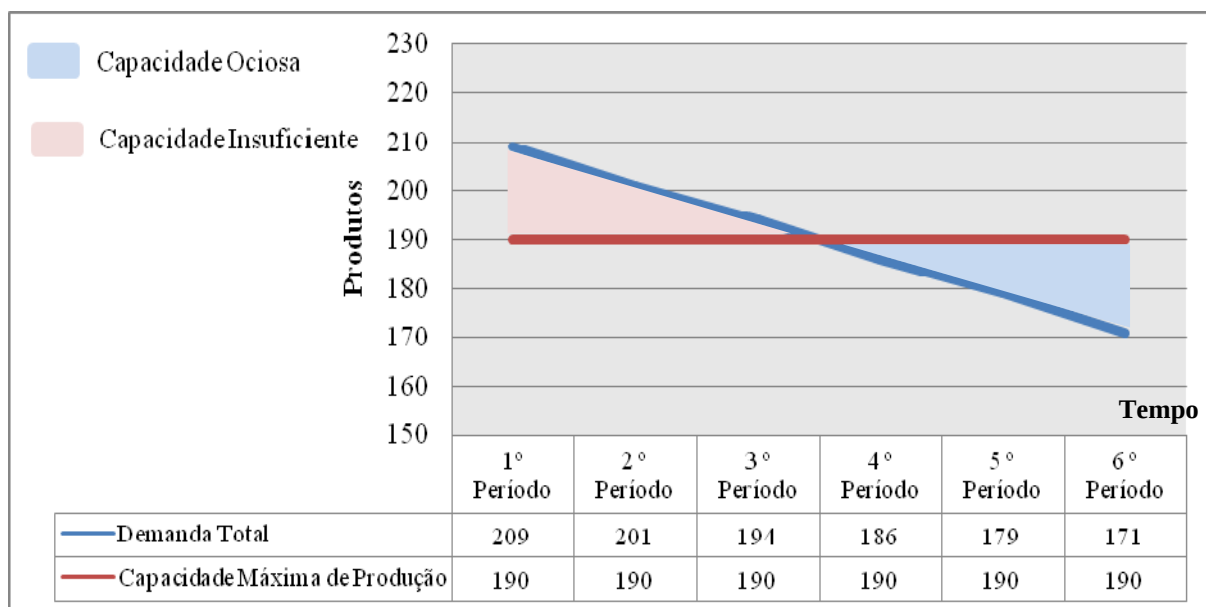


Gráfico 5 - Representação das demandas do cenário 5 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Os dados usados pelo modelo neste cenário estão ilustrados nas tabelas 1, 2 e 4. As demandas estão expostas na tabela 17, logo abaixo:

Tabela 17 - Demandas dos consumidores no cenário 5

| Períodos   | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|------------|-----------------------|----|----|---------------|
|            | 1                     | 2  | 3  |               |
| 1º Período | 73                    | 69 | 67 | 209           |
| 2º Período | 67                    | 68 | 66 | 201           |
| 3º Período | 65                    | 65 | 64 | 194           |
| 4º Período | 60                    | 62 | 64 | 186           |
| 5º Período | 56                    | 63 | 60 | 179           |
| 6º Período | 59                    | 54 | 58 | 171           |

Fonte: Autor.

#### 4.2.5.1 - Resultados do cenário 5

Com a utilização do modelo proposto poderia se alcançar um lucro para a cadeia de suprimentos, nesse cenário, no valor de:

$$\text{Lucro Total} = 44.310,00 \quad \dots(7)$$

Para alcançar esse lucro se faria necessário atender determinadas quantidades de demandas. A tabela 18, que segue, expõe as demandas que seriam atendidas a cada período.

Tabela 18 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 5

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 54                    | 69 | 67 | 190           |
| <b>2º Período</b> | 56                    | 68 | 66 | 190           |
| <b>3º Período</b> | 61                    | 65 | 64 | 190           |
| <b>4º Período</b> | 60                    | 62 | 64 | 186           |
| <b>5º Período</b> | 56                    | 63 | 60 | 179           |
| <b>6º Período</b> | 59                    | 54 | 58 | 171           |

Fonte: Autor.

Para suprir essas demandas deveriam ser produzidos, ao longo da cadeia, diversos produtos. Nesse cenário a produção seria sempre a maior possível até o terceiro período. A partir desse período, a produção sofreria um decréscimo devido à queda da demanda.

A tabela 19, a seguir, mostra as quantidades de produtos que deveriam ser produzidos para venda. Neste cenário, os produtos sempre seriam fabricados para suprir as demandas, assim, não haveria produção para estoque.

Tabela 19 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 5

| Períodos   | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 2º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 3º Período | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| 4º Período | 744          | 744          | 744          | 744          | 372                     | 372                     | 186     | 186                    |
| 5º Período | 716          | 716          | 716          | 716          | 358                     | 358                     | 179     | 179                    |
| 6º Período | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |

Fonte: Autor.

#### 4.2.6 - Cenário 6

O cenário 6 representa uma situação na qual a demanda total prevista cresce e decresce diversas vezes ao longo do tempo. (Gráfico 6)

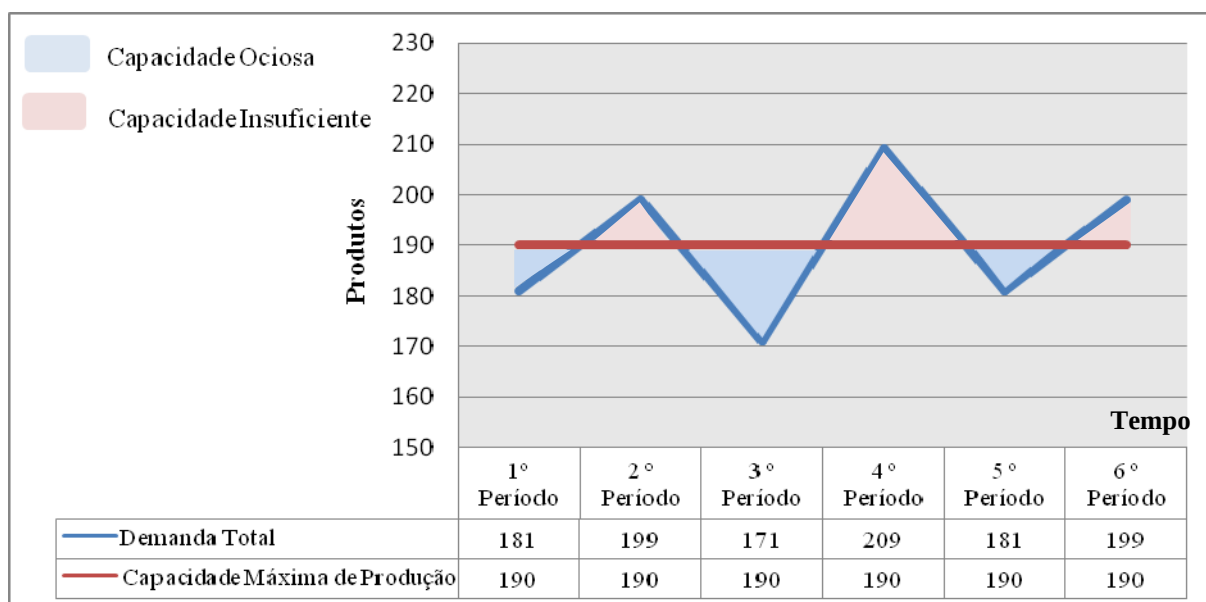


Gráfico 6 - Representação das demandas do cenário 6 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Nesse cenário espera-se que o modelo determine uma quantidade de produtos para serem estocados, proporcionando o máximo lucro para a cadeia como um todo. Essa quantidade estocada deveria ser usada para suprir a demanda quando a mesma for superior à capacidade.

Os dados utilizados nesse modelo encontram-se nas tabelas 1, 2 e 4. As demandas usadas nesse cenário estão expostas na tabela 20, em seguida:

Tabela 20 - Demandas dos consumidores no cenário 6

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 62                    | 57 | 62 | 181           |
| <b>2º Período</b> | 63                    | 69 | 67 | 199           |
| <b>3º Período</b> | 55                    | 57 | 59 | 171           |
| <b>4º Período</b> | 70                    | 70 | 69 | 209           |
| <b>5º Período</b> | 60                    | 62 | 59 | 181           |
| <b>6º Período</b> | 69                    | 66 | 64 | 199           |

Fonte: Autor.

#### 4.2.6.1 - Resultados do cenário 6

Após a resolução do modelo obteve-se que esta cadeia de suprimentos, neste cenário, poderia alcançar um lucro ao longo de seis períodos no valor de:

$$\text{Lucro Total} = 45.470,00 \quad \dots(8)$$

Este lucro seria obtido através do atendimento das demandas dos consumidores dessa cadeia. A tabela 21, abaixo, apresenta as demandas que seriam atendidas de cada consumidor neste cenário.

Tabela 21 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 6

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 62                    | 57 | 62 | 181           |
| <b>2º Período</b> | 63                    | 69 | 67 | 199           |
| <b>3º Período</b> | 55                    | 57 | 59 | 171           |
| <b>4º Período</b> | 70                    | 70 | 69 | 209           |
| <b>5º Período</b> | 60                    | 62 | 59 | 181           |
| <b>6º Período</b> | 69                    | 66 | 64 | 199           |

Fonte: Autor.

No decorrer dos períodos simulados neste cenário deveriam ser produzidos diversos produtos ao longo da cadeia. Esses produtos poderiam ser vendidos no mesmo período de fabricação ou estocados para atender demandas futuras.

A tabela 22, apresentada na sequência, mostra as quantidades de produtos que deveriam ser produzidos para venda; já a tabela 23, mais adiante, expõe quantos produtos deveriam ser fabricados para estoque.

Tabela 22 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 6

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 181                    |
| <b>2º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>3º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 171                    |
| <b>4º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>5º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 181     | 181                    |
| <b>6º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 199                    |

Fonte: Autor.



Tabela 23 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidas em cada organização para estoque no cenário 6

| Períodos               | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica  | Centro de Distribuição |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|----------|------------------------|
| <b>Período Inicial</b> | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0        | 0                      |
| <b>1º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0        | <b>9</b>               |
| <b>2º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0        | 0                      |
| <b>3º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0        | <b>19</b>              |
| <b>4º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0        | 0                      |
| <b>5º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | <b>9</b> | 0                      |
| <b>6º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0        | 0                      |

Fonte: Autor.

#### 4.2.7 - Cenário 7

No cenário 7 se simula uma situação na qual a demanda total prevista apresenta um crescimento até um determinado período, para depois iniciar um decréscimo nas fases subsequentes. Assim, a demanda possui duas tendências diferentes: uma de crescimento, que dura até o quarto período; outra de decréscimo, ocorridas no quinto e sexto períodos. (Gráfico 7)

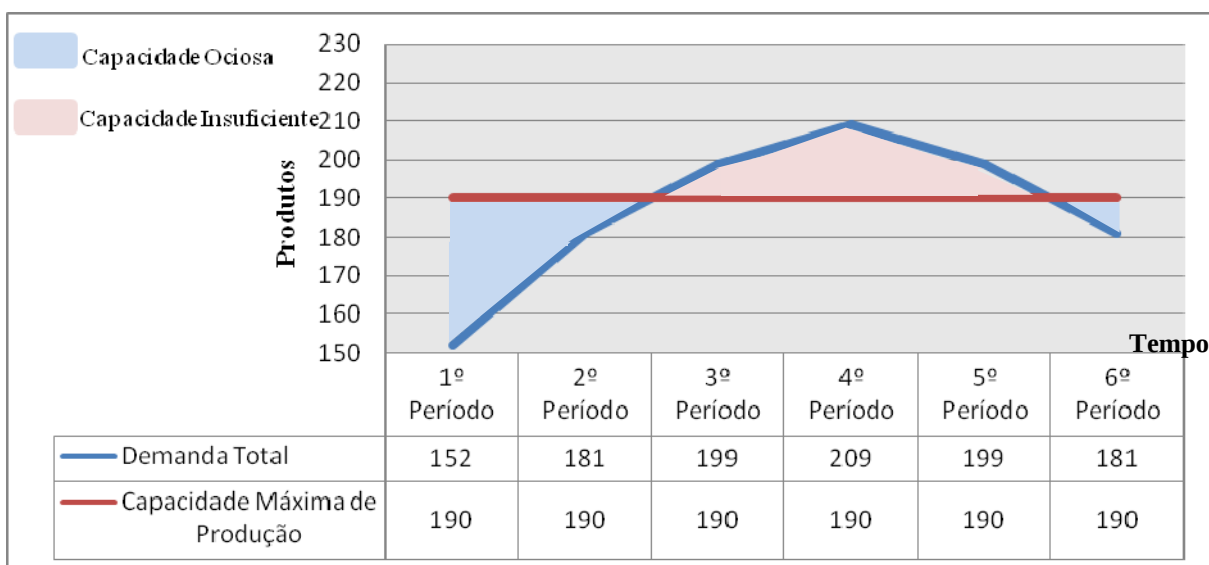


Gráfico 7 - Representação das demandas do cenário 7 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Nesse cenário, a demanda inicial é inferior à capacidade máxima de produção. Seguindo a tendência inicial, ela ultrapassa a capacidade até atingir o seu ponto máximo no quarto período. A partir desse momento a demanda começa a cair, seguindo a segunda tendência desse cenário.

Com a aplicação do modelo, espera-se que sejam estocados produtos suficientes nos períodos 1 e 2, onde existe capacidade ociosa, para atender as demandas nos períodos 3, 4 e 5, onde as capacidades não são suficientes.

Esse cenário utiliza os dados apresentados nas tabelas 1, 2 e 4. As demandas utilizadas estão expostas na tabela 24, a seguir:

Tabela 24 - Demandas dos consumidores no cenário 7

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 52                    | 48 | 52 | 152           |
| <b>2º Período</b> | 57                    | 63 | 61 | 181           |
| <b>3º Período</b> | 64                    | 66 | 69 | 199           |
| <b>4º Período</b> | 70                    | 71 | 68 | 209           |
| <b>5º Período</b> | 66                    | 68 | 65 | 199           |
| <b>6º Período</b> | 63                    | 60 | 58 | 181           |

Fonte: Autor.

#### 4.2.7.1 - Resultados do cenário 7

Com a utilização do modelo proposto constata-se que, neste cenário, a cadeia de suprimentos poderia atingir um lucro de:

$$\text{Lucro Total} = 44.454,00 \quad \dots(9)$$

Para se obter esse lucro uma determinada quantidade das demandas dos consumidores deveria ser atendida. A tabela 25, a seguir, mostra as demandas que seriam atendidas.

Tabela 25 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 7

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 52                    | 48 | 52 | 152           |
| <b>2º Período</b> | 57                    | 63 | 61 | 181           |
| <b>3º Período</b> | 64                    | 66 | 69 | 199           |
| <b>4º Período</b> | 70                    | 71 | 68 | 209           |
| <b>5º Período</b> | 66                    | 68 | 65 | 199           |
| <b>6º Período</b> | 63                    | 60 | 58 | 181           |

Fonte: Autor.

Essas demandas seriam atendidas através de uma produção planejada ao longo da cadeia. As tabelas 26 e 27, exibidas em seguida, mostram as quantidades de produtos que deveriam ser produzidos para venda ou para estoque.

Tabela 26 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 7

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 720          | 720          | 720          | 720          | 360                     | 360                     | 180     | 152                    |
| <b>2º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 153                    |
| <b>3º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 171     | 162                    |
| <b>4º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 181     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 199                    |
| <b>6º Período</b> | 724          | 724          | 724          | 724          | 362                     | 362                     | 181     | 181                    |

Fonte: Autor.

Tabela 27 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 7

| Períodos               | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica   | Centro de Distribuição |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-----------|------------------------|
| <b>Período Inicial</b> | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | 0                      |
| <b>1º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | <b>28</b>              |
| <b>2º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | <b>37</b>              |
| <b>3º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | <b>19</b> | <b>9</b>               |
| <b>4º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | <b>9</b>  | 0                      |
| <b>5º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | 0                      |
| <b>6º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0         | 0                      |

Fonte: Autor.

#### 4.2.8 - Cenário 8

No cenário 8 são feitas modificações nas capacidades das diferentes organizações da cadeia de suprimentos. Estas representam problemas que afetam diretamente as capacidades das organizações. Entre esses problemas pode-se citar: greves, quebras e manutenção de máquinas, etc.

Nesse cenário ocorrem problemas em quatro organizações distintas. Os primeiros acontecem no fornecedor 2 e na fábrica intermediária 1 durante o segundo período, afetando as capacidades de ambos em 10%.

No terceiro período acontece outro problema; dessa vez com o fornecedor 3, que perde 15% da sua capacidade naquele período. O último problema simulado nesse cenário ocorre no quinto período e afeta a fábrica intermediária 2, que perde 10% da sua capacidade.

Este cenário utiliza os custos de armazenagem e as margens de contribuição apresentados na tabela 2 e 4. As demandas utilizadas estão expostas na tabela 3, elas também foram utilizadas no cenário 1, onde a demanda prevista por período é igual à capacidade máxima de produção da cadeia de suprimentos. As capacidades podem ser visualizadas na tabela 28, exposta na sequência:

Tabela 28 - Capacidades das organizações no cenário 8

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>2º Período</b> | 800          | <b>720</b>   | 800          | 800          | <b>360</b>              | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>3º Período</b> | 800          | 800          | <b>680</b>   | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>4º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | <b>360</b>              | 190     | 200                    |
| <b>6º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

## 4.2.8.1 - Resultados do cenário 8

Após a aplicação do modelo proposto neste cenário, no qual problemas afetam as capacidades das organizações da cadeia de suprimentos, obteve-se que a cadeia poderia gerar um lucro no valor de:

$$\text{Lucro Total} = 45.419,00 \quad \dots(10)$$

Esse lucro seria conseguido com o atendimento de todas as demandas previstas para os seis períodos dos três consumidores da cadeia de suprimentos. (Tabela 29)

Tabela 29 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 8

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 65                    | 60 | 65 | 190           |
| <b>2º Período</b> | 60                    | 66 | 64 | 190           |
| <b>3º Período</b> | 61                    | 63 | 66 | 190           |
| <b>4º Período</b> | 64                    | 64 | 62 | 190           |
| <b>5º Período</b> | 63                    | 65 | 62 | 190           |
| <b>6º Período</b> | 66                    | 63 | 61 | 190           |

Fonte: Autor.

Para atender as demandas seria necessário produzir diversos produtos ao longo da cadeia de suprimentos. Os produtos poderiam ser remetidos aos consumidores no mesmo período de produção ou serem estocados.

As tabelas 30 e 31, na sequência, apresentam as quantidades de produtos que deveriam ser fabricados para suprir a demanda no mesmo período ou para estocagem.

Tabela 30 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 8

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>2º Período</b> | 720          | 720          | 800          | 800          | 360                     | 360                     | 190     | 190                    |
| <b>3º Período</b> | 760          | 760          | 680          | 680          | 380                     | 340                     | 190     | 190                    |
| <b>4º Período</b> | 760          | 760          | 800          | 800          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>5º Período</b> | 760          | 760          | 720          | 720          | 380                     | 360                     | 190     | 190                    |
| <b>6º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |

Fonte: Autor.

Tabela 31 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 8

| Períodos               | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>Período Inicial</b> | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |
| <b>1º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 20                      | 20                      | 0       | 0                      |
| <b>2º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 40                      | 0       | 0                      |
| <b>3º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |
| <b>4º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 20                      | 0       | 0                      |
| <b>5º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |
| <b>6º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |

Fonte: Autor.

#### 4.2.9 - Cenário 9

No cenário 9 são feitas alterações em duas variáveis do modelo: nas demandas previstas e nas capacidades das organizações da cadeia de suprimentos.

Nesse cenário, a demanda total prevista é 20% inferior à capacidade no primeiro período. Ela possui uma tendência de crescimento até o terceiro período, quando a mesma é 10% superior à capacidade. A partir desse momento, a demanda decresce até o quinto período, quando a mesma atinge um nível igual ao da capacidade da fábrica, organização que limita a produção dessa cadeia de suprimentos. (Gráfico 8)

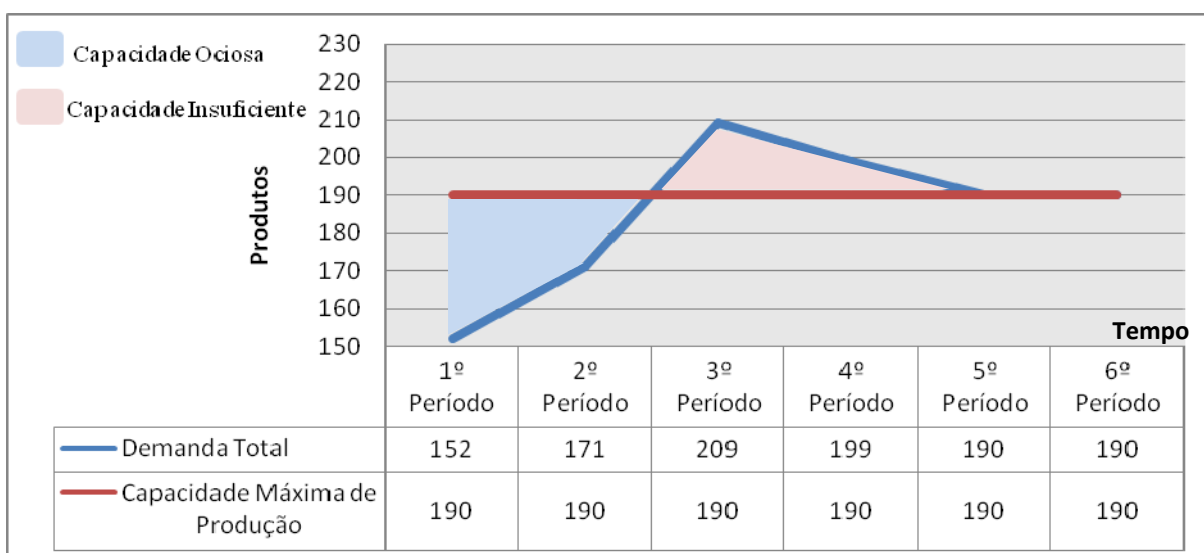


Gráfico 8 - Representação das demandas do cenário 9 em relação às capacidades máximas de produção por período

Fonte: Autor.

Os problemas simulados ocorrem em dois períodos diferentes, terceiro e quarto, nos quais a demanda é superior à capacidade da fábrica.

São três problemas distintos que acontecem em três diferentes organizações. O primeiro acontece no fornecedor 2 durante o terceiro período, e afeta sua capacidade em 7,5%. No mesmo período, ocorre outro problema na fábrica intermediária 2, que também perde 7,5% de sua capacidade.

No quarto período, acontece o último problema simulado nesse cenário. Ele afeta a fábrica intermediária 1, que perde 10% de sua capacidade de produção durante aquele período.

Os dados utilizados nesse cenário encontram-se nas tabelas 2 e 4. As demandas podem ser visualizadas na tabela 32, logo abaixo:

Tabela 32 - Demanda dos consumidores no cenário 9

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 52                    | 48 | 52 | 152           |
| <b>2º Período</b> | 54                    | 59 | 58 | 171           |
| <b>3º Período</b> | 67                    | 69 | 73 | 209           |
| <b>4º Período</b> | 67                    | 67 | 65 | 199           |
| <b>5º Período</b> | 63                    | 65 | 62 | 190           |
| <b>6º Período</b> | 66                    | 63 | 61 | 190           |

Fonte: Autor.

As capacidades de cada organização dessa cadeia de suprimentos, neste cenário, estão expostas na tabela 33, que segue:

Tabela 33 - Capacidades das organizações no cenário 9

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>2º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>3º Período</b> | 800          | <b>740</b>   | 800          | 800          | 400                     | <b>370</b>              | 190     | 200                    |
| <b>4º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | <b>360</b>              | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>6º Período</b> | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

#### 4.2.9.1 - Resultados do Cenário 9

No cenário 9, com a aplicação do modelo proposto, seria possível obter um lucro total para a cadeia de suprimentos no valor de:



$$\text{Lucro Total} = 44.156,00 \quad \dots(11)$$

Para conseguir esse lucro todas as demandas deveriam ser totalmente atendidas, inclusive no terceiro e no quarto períodos. A tabela 34, vista na sequência, mostra as demandas que seriam atendidas de cada consumidor em cada período.

Tabela 34 - Demandas que seriam realmente atendidas no cenário 9

| Períodos          | Demanda do Consumidor |    |    | Demanda Total |
|-------------------|-----------------------|----|----|---------------|
|                   | 1                     | 2  | 3  |               |
| <b>1º Período</b> | 52                    | 48 | 52 | 152           |
| <b>2º Período</b> | 54                    | 59 | 58 | 171           |
| <b>3º Período</b> | 67                    | 69 | 73 | 209           |
| <b>4º Período</b> | 67                    | 67 | 65 | 199           |
| <b>5º Período</b> | 63                    | 65 | 62 | 190           |
| <b>6º Período</b> | 66                    | 63 | 61 | 190           |

Fonte: Autor.

A produção para atender essa demanda deveria ser dividida em produtos fabricados para venda no mesmo período e produtos para serem estocados. A tabela 35, abaixo, expõe as quantidades que deveriam ser produzidas em cada organização e em cada período para atender a demanda do mesmo período.

Tabela 35 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para suprir a demanda do mesmo período no cenário 9

| Períodos          | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | 664          | 664          | 664          | 664          | 332                     | 332                     | 166     | 152                    |
| <b>2º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 157                    |
| <b>3º Período</b> | 780          | 740          | 740          | 740          | 370                     | 370                     | 185     | 176                    |
| <b>4º Período</b> | 720          | 720          | 760          | 760          | 360                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>5º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
| <b>6º Período</b> | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |

Fonte: Autor.

Já a tabela 36, exposta em seguida, apresenta as quantidades que deveriam ser fabricadas para estocagem em cada organização da cadeia de suprimentos.

Tabela 36 - Quantidades de produtos que deveriam ser produzidos em cada organização para estoque no cenário 9

| Períodos               | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>Período Inicial</b> | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |
| <b>1º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | <b>14</b>              |
| <b>2º Período</b>      | 0            | <b>40</b>    | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | <b>33</b>              |
| <b>3º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | <b>20</b>               | 0                       | 0       | <b>9</b>               |
| <b>4º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |
| <b>5º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |
| <b>6º Período</b>      | 0            | 0            | 0            | 0            | 0                       | 0                       | 0       | 0                      |

Fonte: Autor.

O modelo utilizado, no formato utilizado no programa Lindo, e os resultados deste cenário, encontram-se no apêndice B.

## **5 - ANÁLISES DOS RESULTADOS OBTIDOS**

Neste capítulo os resultados obtidos em cada cenário simulado com a aplicação do modelo proposto são analisados, avaliando-se as demandas atendidas, os níveis de estoque e as capacidades utilizadas de cada organização para cada período considerado.

Também é feita uma comparação entre os resultados que seriam obtidos com a utilização do modelo proposto e os resultados que seriam obtidos com a utilização de um outro modelo de gestão.

Neste estudo, esse outro modelo será denominado modelo padrão. Ele caracteriza-se por um menor nível de troca de informações entre as organizações, as quais só possuem acesso à informação da demanda do seu consumidor. Assim, as decisões de produção são tomadas individualmente por cada organização, sempre se baseando nas informações recebidas dos seus clientes.

Com a utilização do modelo padrão a produção de cada organização sempre é igual à demanda do seu consumidor naquele período. Isso porque ele não considera a possibilidade de se estocar produtos, assim, os estoques sempre serão iguais a zero.

O modelo padrão, que é utilizado na comparação com o modelo de programação linear proposto, foi descrito por Carvalho (2005), sendo usado por Massote e Nogueira Neto (2007) para fazer comparações com o modelo proposto por eles.

### **5.1 - Análise dos resultados do cenário 1**

Esse cenário foi simulado com o objetivo de validar o modelo proposto, verificando se seriam atendidas todas as demandas previstas em uma situação na qual existiria capacidade para isso.

As demandas dos três consumidores somam um total de 190 produtos por período, por isso poderiam ser totalmente atendidas, pois a capacidade máxima de produção da fábrica, gargalo dessa cadeia de suprimentos, é de 190 produtos por período.

Os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo no cenário 1 comprovam sua validação. As demandas dos consumidores seriam completamente atendidas nos seis períodos, isso geraria um lucro total no valor de R\$ 45.619,00. (Tabela 37)

Tabela 37 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 1

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 65           | 65        | 60           | 60        | 65           | 65        | 190       | 190       |
| <b>2º Período</b> | 60           | 60        | 66           | 66        | 64           | 64        | 190       | 190       |
| <b>3º Período</b> | 61           | 61        | 63           | 63        | 66           | 66        | 190       | 190       |
| <b>4º Período</b> | 64           | 64        | 64           | 64        | 62           | 62        | 190       | 190       |
| <b>5º Período</b> | 63           | 63        | 65           | 65        | 62           | 62        | 190       | 190       |
| <b>6º Período</b> | 66           | 66        | 63           | 63        | 61           | 61        | 190       | 190       |

Fonte: Autor.

Nesse cenário somente a fábrica seria solicitada em sua capacidade máxima ao longo dos seis períodos. As demais organizações estariam limitadas pelo gargalo, as mesmas utilizariam sempre 95% de suas capacidades. (Tabela 38)

Tabela 38 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 1

| Períodos          |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>2º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>3º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>4º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>6º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

A produção da cadeia teria como objetivo suprir as demandas dos consumidores no mesmo período; desse modo, nenhum produto seria estocado ao longo da cadeia nesse cenário.

Não existir estoque era um fato esperado, já que a demanda era constante e igual à capacidade máxima de produção da cadeia de suprimentos, ou seja, em nenhum momento haveria a necessidade de se estocar produtos para atender uma possível demanda nos períodos posteriores.

### 5.1.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 1

Os resultados que seriam obtidos com a utilização do modelo proposto e com o uso do modelo padrão são idênticos.

O lucro total da cadeia de suprimentos atingido com ambos seria de R\$ 45.619,00. As demandas seriam totalmente atendidas com os dois modelos e em nenhum deles se faria estoque de produtos.

A tabela 39, mostrada na sequência, apresenta um resumo dos resultados que poderiam ser obtidos usando-se o modelo padrão.

Tabela 39 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 1

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 45.619,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 190        | 190        | 190        | 190        | 190        | 190        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

Esses resultados já eram esperados. Nesse cenário seria possível atender plenamente as demandas usando as capacidades do período. Então, mesmo utilizando o modelo padrão, o qual planeja a produção de acordo com as demandas dos consumidores em dado período, seria possível atender a 100% das demandas.

## 5.2 - Análise dos resultados do cenário 2

O segundo cenário caracteriza-se por ser uma situação na qual a capacidade da cadeia de suprimentos hipotética não é suficiente para atender as demandas dos consumidores.

A utilização do modelo proposto tinha como objetivo verificar se o mesmo maximizaria o lucro da cadeia ao longo dos seis períodos, ou seja, queria se averiguar se o modelo privilegiaria o atendimento das demandas dos consumidores que levariam à obtenção do lucro máximo.

Após a verificação dos resultados constatou-se que o objetivo foi completamente atingido. Em todos os períodos seriam produzidos 190 produtos, atendendo sempre os consumidores com uma margem de contribuição maior, maximizando-se assim o lucro total da cadeia. Nesse cenário, a cadeia geraria um lucro total de R\$ 45.869,00.

A tabela 40, na sequência, expõe uma comparação das demandas previstas e das demandas que seriam realmente atendidas nesse cenário.

Tabela 40 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 2

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 52           | 71        | 66           | 66        | 72           | 72        | 190       | 209       |
| <b>2º Período</b> | 47           | 66        | 73           | 73        | 70           | 70        | 190       | 209       |
| <b>3º Período</b> | 48           | 67        | 69           | 69        | 73           | 73        | 190       | 209       |
| <b>4º Período</b> | 70           | 70        | 71           | 71        | 49           | 68        | 190       | 209       |
| <b>5º Período</b> | 69           | 69        | 72           | 72        | 49           | 68        | 190       | 209       |
| <b>6º Período</b> | 73           | 73        | 69           | 69        | 48           | 67        | 190       | 209       |

Fonte: Autor.

Analisando-se a tabela 40 verifica-se que os consumidores 2 e 3 teriam suas demandas totalmente atendidas até o terceiro período.

A partir do quarto período, o consumidor 1 começaria a apresentar uma margem de contribuição igual ou maior que a do consumidor 3, então o modelo passaria a atendê-lo completamente junto com o consumidor 2. Nos próximos períodos, o consumidor 3 teria, respectivamente, 72,1%, 72,1% e 71,6% de sua demanda atendida.

As margens de contribuição utilizadas nesse cenário são mostradas na tabela 4.

Para atender a essas demandas a produção da cadeia deveria ser sempre a maior possível de acordo com a capacidade da fábrica. Assim, em todos os períodos os fornecedores enviariam 760 produtos para as fábricas intermediárias que, por sua vez, fabricariam 380 produtos, os quais seriam encaminhados para a fábrica. Esta produziria 190 produtos e os enviaria para o centro de distribuição, que os repassaria para os consumidores.

Todas as organizações, exceto a fábrica, trabalhariam com capacidade ociosa nesse cenário. A tabela 41, a seguir, mostra uma comparação entre as capacidades que seriam utilizadas e as capacidades disponíveis de todas as organizações dessa cadeia de suprimentos em cada período.

Tabela 41 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 2

| Períodos   |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 2º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 3º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 4º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 5º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 6º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

A partir da tabela 41 verifica-se que os fornecedores, as fábricas intermediárias e o centro de distribuição utilizariam 95% de sua capacidade, enquanto a fábrica usaria sempre 100%, mostrando que ela é o gargalo da cadeia de suprimentos.

Analisando, ainda, os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto, verifica-se que neste cenário não haveria nenhum estoque; este é um resultado previsto, pois sempre existiria demanda para absolver a oferta de produtos.

#### 5.2.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 2

Os resultados que seriam alcançados com a adoção de ambos os modelos são novamente iguais.

Esse fato já era esperado, posto que no segundo cenário trabalhava-se com uma demanda constante e superior à capacidade durante todos os períodos. Assim esperava-se que ambos os modelos buscassem atender as demandas dos clientes que maximizassem o seu lucro.

A tabela 42, vista na sequência, apresenta um resumo dos resultados que seriam obtidos com o modelo padrão. Visualiza-se que com o modelo padrão a cadeia obterá um

lucro total de R\$ 45.869,00, valor igual ao que se encontraria com o modelo proposto. Também é possível perceber que 90,9% das demandas previstas seriam atendidas.

Tabela 42 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 2

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 45.869,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 190        | 190        | 190        | 190        | 190        | 190        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

### 5.3 - Análise dos resultados do cenário 3

O terceiro cenário considera uma situação em que a demanda é inferior à capacidade máxima de produção da cadeia de suprimentos; por isso todas as demandas deveriam ser atendidas.

Este cenário serviu para testar a aderência do modelo proposto, verificando se ele atenderia as demandas de todos consumidores quando possuía capacidade para tanto.

No cenário 3, com a aplicação do modelo, poderia se atingir um lucro no valor de R\$ 41.056,00, o qual seria obtido com o atendimento total das demandas previstas, conforme pode ser visualizado na tabela 43, na sequência, que expõe uma comparação entre as demandas previstas e as demandas que seriam atendidas.

Tabela 43 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 3

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 59           | 59        | 54           | 54        | 58           | 58        | 171       | 171       |
| <b>2º Período</b> | 54           | 54        | 59           | 59        | 58           | 58        | 171       | 171       |
| <b>3º Período</b> | 55           | 55        | 57           | 57        | 59           | 59        | 171       | 171       |
| <b>4º Período</b> | 58           | 58        | 57           | 57        | 56           | 56        | 171       | 171       |
| <b>5º Período</b> | 57           | 57        | 58           | 58        | 56           | 56        | 171       | 171       |
| <b>6º Período</b> | 59           | 59        | 57           | 57        | 55           | 55        | 171       | 171       |

Fonte: Autor.



Nesse cenário, como já mencionado, a demanda é inferior à capacidade. Assim, nenhuma organização dessa cadeia de suprimentos trabalharia com sua capacidade máxima ao longo dos seis períodos. Os quatros fornecedores, as fábricas intermediárias e o centro de distribuição utilizariam 85,5% de sua capacidade; a fábrica, por outro lado, usaria 90,0% de sua capacidade. (Tabela 44)

Tabela 44 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 3

| Períodos          |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | Utilizada  | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>2º Período</b> | Utilizada  | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>3º Período</b> | Utilizada  | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>4º Período</b> | Utilizada  | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | Utilizada  | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>6º Período</b> | Utilizada  | 684          | 684          | 684          | 684          | 342                     | 342                     | 171     | 171                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

As capacidades de todas as organizações seriam utilizadas para a produção de produtos que seriam repassados aos consumidores no mesmo período. Assim, não se estocaria nenhum produto ao longo da cadeia. Novamente este resultado era esperado, pois a demanda é inferior à capacidade máxima de produção.

### 5.3.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 3

O cenário 3 caracteriza-se por ser uma situação na qual demanda é inferior à capacidade máxima de produção da cadeia. Assim, os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto são iguais aos que poderiam ser encontrados com a adoção do modelo padrão.

O lucro alcançado com ambos seria de R\$ 41.056,00; as demandas seriam plenamente atendidas e não haveria necessidade de estocar produtos em nenhum período ou organização.

A tabela 45, apresentada abaixo, expõe um resumo dos resultados que seriam obtidos com o modelo padrão.

Tabela 45 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 3

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 41.056,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 171        | 171        | 171        | 171        | 171        | 171        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

#### 5.4 - Análise dos resultados do cenário 4

O cenário 4 representa uma situação em que a demanda apresenta um crescimento contínuo ao longo do tempo. Inicialmente essa demanda é inferior à capacidade; com o passar do tempo esse fato se inverte e a demanda passa a ser superior.

Essa situação foi simulada com o objetivo de verificar se, com a utilização do modelo proposto, seria possível maximizar o lucro total da cadeia de suprimentos por meio de um planejamento para os seis períodos.

Assim, esperava-se que o modelo ponderasse se seria lucrativo estocar produtos nos períodos com capacidade ociosa para suprir as demandas quando existisse insuficiência de capacidade.

Caso essa hipótese fosse verdadeira, tinha-se a expectativa de que o modelo determinasse a quantidade de produtos que deveriam ser estocados, em qual organização e durante qual período.

Os resultados obtidos demonstram que, de fato, seria lucrativo estocar os produtos. O lucro total da cadeia para os seis períodos poderia ser de R\$ 45.089,00. As demandas seriam totalmente atendidas, inclusive no quarto, quinto e sexto períodos.

A tabela 46, vista a seguir, mostra uma comparação das demandas previstas com as demandas que seriam atendidas, expondo o total atendimento das demandas dos três consumidores.

Tabela 46 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 4

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 59           | 59        | 54           | 54        | 58           | 58        | 171       | 171       |
| <b>2º Período</b> | 56           | 56        | 63           | 63        | 60           | 60        | 179       | 179       |
| <b>3º Período</b> | 60           | 60        | 62           | 62        | 64           | 64        | 186       | 186       |
| <b>4º Período</b> | 65           | 65        | 65           | 65        | 64           | 64        | 194       | 194       |
| <b>5º Período</b> | 67           | 67        | 68           | 68        | 66           | 66        | 201       | 201       |
| <b>6º Período</b> | 73           | 73        | 69           | 69        | 67           | 67        | 209       | 209       |

Fonte: Autor.

Nesse cenário, como já demonstrado, o modelo proposto determina que seria necessário estocar produtos para maximizar o lucro, além de definir os locais e os períodos onde deveriam ser estocados.

Esses locais, então, utilizariam sua capacidade tanto para produzir quanto para estocar produtos. Uma comparação entre as capacidades que seriam utilizadas e as capacidades disponíveis de cada organização está exposta na tabela 47, a seguir:

Tabela 47 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 4

| Períodos          |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|-------------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| <b>1º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>2º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>3º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>4º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 180                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>5º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 200                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| <b>6º Período</b> | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|                   | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

Analisando-se a tabela 47, verifica-se que a fábrica em todos os períodos utilizaria 100% de sua capacidade, mesmo nos três primeiros períodos quando a demanda de produtos é inferior a 190 - sua capacidade máxima de produção.

O centro de distribuição também trabalharia com sua capacidade máxima; no entanto, somente durante o quinto período. Nos outros cinco períodos, ele utilizaria 95%, 95%, 95%, 90% e 95% de sua capacidade, respectivamente.

As outras organizações sempre trabalhariam com 95% de sua capacidade. Assim, constata-se que os estoques ocorreriam sempre na fábrica e no centro de distribuição, que são respectivamente, o gargalo e a última organização dessa cadeia de suprimentos.

As quantidades de produtos estocados em cada organização durante os seis períodos estão expostas na tabela 15.

#### 5.4.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 4

Os resultados que seriam alcançados no quarto cenário, com a aplicação do modelo padrão, são diferentes dos que seriam atingidos com o modelo proposto. A tabela 48, mostrada abaixo, expõe um resumo desses resultados.

Tabela 48 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 4

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 44.302,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 171        | 179        | 186        | 190        | 190        | 190        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

Observa-se que o lucro total que poderia ser obtido com o modelo padrão é R\$ 787,00 inferior ao que seria atingido com a utilização do modelo proposto.

Essa diferença explica-se pela possibilidade de atendimento das demandas. Com a utilização do modelo proposto seria possível determinar uma quantidade de produtos que deveriam ser estocados nos primeiros períodos para atender totalmente as demandas do quarto, quinto e sexto períodos.

Essas mesmas demandas não seriam supridas com a adoção do modelo padrão, pois o mesmo utiliza informações somente de um período, não possibilitando armazenar nenhum produto para atender demandas futuras.

O gráfico 9 demonstra uma comparação entre as demandas que seriam atendidas com a utilização de ambos os modelos:

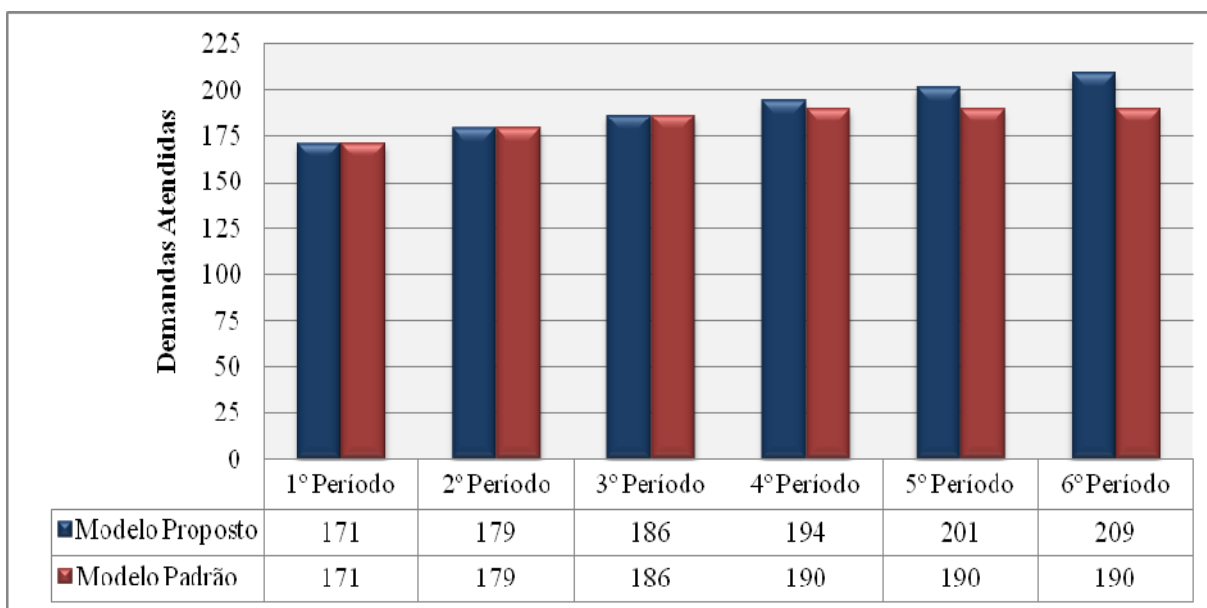


Gráfico 9 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 4

Fonte: Autor.

## 5.5 - Análise dos resultados do cenário 5

O cenário 5 simula uma situação oposta à apresentada no cenário 4. Aqui, a demanda inicial é superior à capacidade máxima de produção da cadeia; com o passar do tempo, sofre um decréscimo até atingir, no sexto período, um ponto 10% inferior à capacidade.

A aplicação do modelo nesse cenário tinha como objetivo central maximizar o lucro com a determinação de quais demandas deveriam ser atendidas nos primeiros períodos.

Neste cenário, em que a demanda inicia-se superior à capacidade e apresenta um decréscimo constante, o lucro total poderia ser de R\$ 44.310,00. Ele seria obtido através do atendimento de todas as demandas dos consumidores 2 e 3 e de grande parte das demandas do consumidor 1. (Tabela 49)

Tabela 49 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 5

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 54           | 73        | 69           | 69        | 67           | 67        | 190       | 209       |
| <b>2º Período</b> | 56           | 67        | 68           | 68        | 66           | 66        | 190       | 201       |
| <b>3º Período</b> | 61           | 65        | 65           | 65        | 64           | 64        | 190       | 194       |
| <b>4º Período</b> | 60           | 60        | 62           | 62        | 64           | 64        | 186       | 186       |
| <b>5º Período</b> | 56           | 56        | 63           | 63        | 60           | 60        | 179       | 179       |
| <b>6º Período</b> | 59           | 59        | 54           | 54        | 58           | 58        | 171       | 171       |

Fonte: Autor.

Como se pode visualizar na tabela 49, o modelo aponta para o atendimento total das demandas dos consumidores 2 e 3.

Assim, com o uso do modelo proposto seriam repassados somente 54 produtos para o consumidor 1 no primeiro período, o que representaria 74% da demanda total prevista. No segundo período, o total de produtos aumentaria para 56, equivalendo a 83,6% da demanda presumida. Por fim, no terceiro período, seriam remetidos 61 produtos, equivalentes a 93,8% da demanda calculada.

As margens de contribuições utilizadas nesse cenário são mostradas na tabela 4.

No cenário 5 não se estocaria nenhum produto em nenhum período ou organização. As demandas seriam atendidas pelos produtos produzidos no mesmo período.

Esse resultado já era esperado, pois não haveria possibilidade de se estocar nos primeiros períodos quando a demanda total é superior à capacidade máxima da cadeia; com o passar do tempo a demanda cai, e com isso não existiria mais necessidade de estoque.

Assim, nos três primeiros períodos desse cenário, no qual a demanda é superior à capacidade máxima, a fábrica limitaria a produção em 190 produtos por período, ou seja, ela trabalharia com sua capacidade máxima. As demais organizações utilizariam 95% de suas capacidades nos primeiros períodos.

Nos três últimos períodos a utilização das capacidades variaria de acordo com a queda da demanda. No quarto período todas as organizações trabalhariam com 93,0% de suas capacidades, exceto a fábrica, que utilizaria 97,9%. Já no quinto período a fábrica usaria 94,2%, e as demais 89,5%.

No último período a queda continuaria: a capacidade utilizada da fábrica cairia para 90,0% enquanto as das demais atingiriam um nível de 85,5%. A tabela 50 apresenta uma comparação entre as capacidades disponíveis e as capacidades que seriam utilizadas:

Tabela 50 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 5

| Períodos              |                   | Fornecedor<br>1 | Fornecedor<br>2 | Fornecedor<br>3 | Fornecedor<br>4 | Fábrica<br>Intermediária<br>1 | Fábrica<br>Intermediária<br>2 | Fábrica | Centro de<br>Distribuição |
|-----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------|---------------------------|
| <b>1º<br/>Período</b> | <b>Utilizada</b>  | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 190                       |
|                       | <b>Disponível</b> | 800             | 800             | 800             | 800             | 400                           | 400                           | 190     | 200                       |
| <b>2º<br/>Período</b> | <b>Utilizada</b>  | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 190                       |
|                       | <b>Disponível</b> | 800             | 800             | 800             | 800             | 400                           | 400                           | 190     | 200                       |
| <b>3º<br/>Período</b> | <b>Utilizada</b>  | 760             | 760             | 760             | 760             | 380                           | 380                           | 190     | 190                       |
|                       | <b>Disponível</b> | 800             | 800             | 800             | 800             | 400                           | 400                           | 190     | 200                       |
| <b>4º<br/>Período</b> | <b>Utilizada</b>  | 744             | 744             | 744             | 744             | 372                           | 372                           | 186     | 186                       |
|                       | <b>Disponível</b> | 800             | 800             | 800             | 800             | 400                           | 400                           | 190     | 200                       |
| <b>5º<br/>Período</b> | <b>Utilizada</b>  | 716             | 716             | 716             | 716             | 358                           | 358                           | 179     | 179                       |
|                       | <b>Disponível</b> | 800             | 800             | 800             | 800             | 400                           | 400                           | 190     | 200                       |
| <b>6º<br/>Período</b> | <b>Utilizada</b>  | 684             | 684             | 684             | 684             | 342                           | 342                           | 171     | 171                       |
|                       | <b>Disponível</b> | 800             | 800             | 800             | 800             | 400                           | 400                           | 190     | 200                       |

Fonte: Autor.

#### 5.5.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 5

Os resultados que seriam obtidos no cenário 5 com a adoção do modelo proposto são iguais aos que seriam alcançados através do modelo padrão.

Utilizando ambos se atingiria um lucro total de R\$ 44.310,00. As demandas do quarto, quinto e sexto períodos, nos quais a capacidade máxima de produção da cadeia é maior ou igual a demanda total, seriam totalmente atendidas.

Nos primeiros períodos não seria possível atender as demandas sobressalentes à capacidade máxima com nenhum dos dois modelos.

A tabela 51, a seguir, apresenta um resumo dos resultados que seriam obtidos no cenário 5, utilizando o modelo padrão.

Tabela 51 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 5

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 44.310,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 190        | 190        | 190        | 186        | 179        | 171        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

## 5.6 - Análise dos resultados do cenário 6

O cenário 6 simula uma situação na qual a demanda total prevista varia constantemente ao longo dos seis períodos.

Este cenário foi criado para testar a efetividade do modelo proposto. Esperava-se inicialmente que o ele determinasse se seria lucrativo produzir e estocar produtos nos períodos com capacidade ociosa a fim de atender as demandas futuras.

Caso a hipótese de estocar fosse lucrativa, esperava-se que o modelo determinasse a quantidade de produtos que deveriam ser estocados em cada organização da cadeia de suprimentos.

Após análise dos resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto percebe-se sua efetividade. O lucro total da cadeia seria maximizado, ele poderia atingir um valor de R\$ 45.470,00, com todas as demandas sendo atendidas.

A tabela 52, vista na sequência, mostra uma comparação entre as demandas previstas e as demandas que seriam atendidas. É possível visualizar o atendimento de 100% das demandas.



Tabela 52 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 6

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 62           | 62        | 57           | 57        | 62           | 62        | 181       | 181       |
| <b>2º Período</b> | 63           | 63        | 69           | 69        | 67           | 67        | 199       | 199       |
| <b>3º Período</b> | 55           | 55        | 57           | 57        | 59           | 59        | 171       | 171       |
| <b>4º Período</b> | 70           | 70        | 70           | 70        | 69           | 69        | 209       | 209       |
| <b>5º Período</b> | 60           | 60        | 62           | 62        | 59           | 59        | 181       | 181       |
| <b>6º Período</b> | 69           | 69        | 66           | 66        | 64           | 64        | 199       | 199       |

Fonte: Autor.

O fato das demandas serem totalmente atendidas denota que o modelo determina que seria lucrativo produzir e estocar produtos com o objetivo de suprir as demandas no segundo, no quarto e no sexto períodos.

O modelo proposto, também, define em qual organização e em que período haveria estoques. Segundo o modelo deveriam ser estocados produtos na fábrica e no centro de distribuição durante os períodos com capacidade ociosa, ou seja, no primeiro, terceiro e quinto períodos.

No primeiro período seriam estocados 9 produtos no CD, o que atenderia completamente a demanda do segundo período, que é de 199, ou seja, 9 produtos a mais que a capacidade máxima de produção da cadeia de suprimentos naquele período.

Esse evento voltaria a ocorrer no terceiro período, no qual se estocariam 19 produtos, que seriam repassados ao consumidor no período seguinte. Já no quinto período seriam armazenados 9 produtos na fábrica, com o objetivo de suprir a demanda do sexto.

As quantidades de produtos que seriam estocados em cada organização nesse cenário são mostradas na tabela 23. Devido a tais estoques, as organizações trabalhariam com capacidades distintas. Novamente a fábrica, gargalo dessa cadeia, utilizaria 100% de sua capacidade nos seis períodos.

O centro de distribuição, organização localizada após o gargalo, usaria 95% de sua capacidade nos quatro primeiros períodos. No quinto e no sexto, ele utilizaria, respectivamente, 90,5% e 99,5%.

As demais organizações trabalhariam constantemente com 95% de sua capacidade. Os fornecedores e as fábricas intermediárias utilizariam essa porcentagem, uma vez que teriam de suprir a fábrica com seus produtos.

A tabela 53, mostrada em seguida, expõe uma comparação entre as capacidades disponíveis de cada organização e as capacidades que seriam utilizadas.

Tabela 53 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 6

| Períodos   |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 2º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 3º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 4º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 5º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 181                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 6º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 199                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

5.6.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 6

No cenário 6 os resultados que poderiam ser atingidos com o uso do modelo proposto são muito diferentes dos que seriam alcançados com o modelo padrão, os quais estão expostos na tabela 54:

Tabela 54 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 6

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 44.202,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 181        | 190        | 170        | 190        | 181        | 190        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

Analisando-se a tabela 54 é possível perceber diferenças no lucro total, nas demandas atendidas e na quantidade de produtos armazenados.

O lucro total que seria obtido com o modelo proposto é de R\$ 45.470,00, já com o modelo padrão seria de R\$44.402,00 - uma diferença de R\$1.268, explicada pelo atendimento das demandas.

O gráfico 10, a seguir, traz uma comparação entre o total de demandas que seriam atendidas por período com cada modelo. É visível que a diferença no atendimento de demandas ocorreria nos períodos 2, 4 e 6, quando a capacidade de produção não comporta o total de demanda previsto. Como o modelo padrão não utiliza informações de demandas futuras, ele não armazenaria nenhum produto para suprir a procura, por isso, não atenderia completamente as demandas.

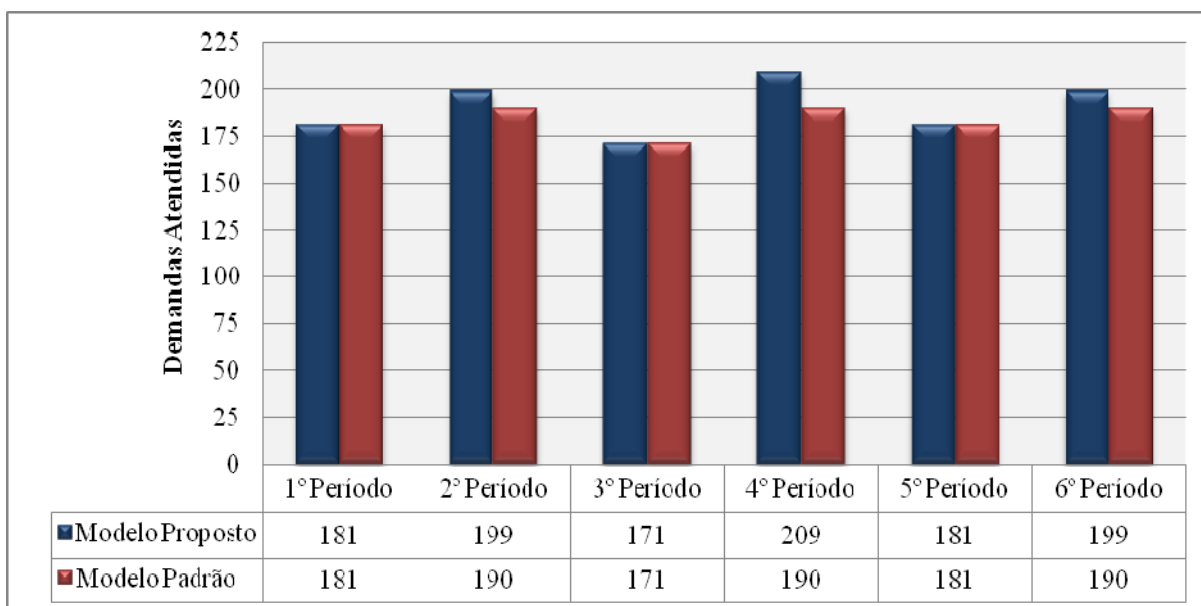


Gráfico 10 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 6

Fonte: Autor.

## 5.7 - Análise dos resultados do cenário 7

O cenário 7 apresenta uma situação em que a demanda inicial prevista é inferior à capacidade máxima de produção da cadeia de suprimentos; seguindo uma tendência, ela cresce até o quarto período, quando alcança seu maior nível, 10% superior à capacidade. A partir desse momento, começa a cair, influenciada pela segunda tendência simulada.

Nesse cenário, diferente dos outros simulados anteriormente, o modelo possuiria menos tempo para estocar produtos caso fosse conveniente. Aqui, o estoque para atender às

demandas sobressalentes dos períodos 3, 4 e 5 só poderia ser feito durante os dois primeiros períodos.

Com aplicação do modelo proposto esperava-se que o mesmo determinasse se seria melhor estocar produtos para atender às demandas futuras ou não estocar e deixar de atendê-las.

Sendo a primeira hipótese verdadeira, o modelo, também, deveria determinar quantos produtos seriam estocados, em qual organização e em que períodos.

Os resultados obtidos mostram que, para se alcançar o lucro de R\$ 44.454,00, seria necessário haver estoque, a fim de atender todas as demandas. (Tabela 55)

Tabela 55 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 7

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 52           | 52        | 48           | 48        | 52           | 52        | 152       | 152       |
| <b>2º Período</b> | 57           | 57        | 63           | 63        | 61           | 61        | 181       | 181       |
| <b>3º Período</b> | 64           | 64        | 66           | 66        | 69           | 69        | 199       | 199       |
| <b>4º Período</b> | 70           | 70        | 71           | 71        | 68           | 68        | 209       | 209       |
| <b>5º Período</b> | 66           | 66        | 68           | 68        | 65           | 65        | 199       | 199       |
| <b>6º Período</b> | 63           | 63        | 60           | 60        | 58           | 58        | 181       | 181       |

Fonte: Autor.

Analisando-se a tabela 55 verifica-se que no primeiro e no segundo período a demanda é menor que a capacidade, ou seja, existe capacidade ociosa. Sendo assim, o modelo proposto determinaria que grande parte da armazenagem de produtos ocorresse nesses períodos, como se pode visualizar na tabela 27, que mostra a quantidade de produtos que seriam estocados em cada organização, por período.

O centro de distribuição seria a organização que mais concentraria estoques nesse cenário. No primeiro período, a fábrica produziria 180 produtos que seriam repassados ao CD; desses, somente 152 seriam usados para suprir a demanda daquele período, os 28 restantes seriam estocados.

No segundo período, quando também existe capacidade ociosa, a fábrica repassaria 190 produtos ao centro de distribuição; desses, 153 seriam revendidos aos consumidores, juntamente com os 28 armazenados no primeiro período; os 37 restantes seriam estocados.

No terceiro período, a fábrica produziria 190 produtos, dos quais 19 seriam estocados naquela organização. Assim, ela repassaria 171 produtos ao centro de distribuição, o qual armazenaria 9 desses produtos, os 162 restantes seriam repassados aos consumidores, juntamente com os 37 estocados no segundo período.

No quarto período, a fábrica produziria 190, desses 9 seriam estocados, os restantes seriam repassados ao CD juntamente com os 19 armazenados no período anterior. O centro de distribuição utilizaria todos os seus produtos estocados para atender a demanda de 209 produtos desse período.

Os últimos 9 produtos estocados na fábrica seriam usados no quinto período. Eles se juntariam aos 190 produzidos para atender toda a demanda do período.

Ainda analisando os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto nesse cenário, percebe-se que as organizações utilizariam suas capacidades de modo diferente ao longo do tempo.

Essa utilização está demonstrada na tabela 56, mostrada na sequência, que expõe uma comparação entre as capacidades que seriam utilizadas e as capacidades disponíveis de cada organização dessa cadeia de suprimentos.

Tabela 56 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 7

| Períodos   |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | Utilizada  | 720          | 720          | 720          | 720          | 360                     | 360                     | 180     | 180                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 2º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 3º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 171                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 4º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 5º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 199                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 6º Período | Utilizada  | 724          | 724          | 724          | 724          | 362                     | 362                     | 181     | 181                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

Verifica-se na tabela 56 que no primeiro período os fornecedores, as fábricas intermediárias e o centro de distribuição usariam 90% de sua capacidade; a fábrica utilizaria 94,7%. Nesse período, a demanda era pequena; porém, seria necessário produzir produtos para estoque.

Do segundo até o quinto período, os fornecedores e as fábricas intermediárias utilizariam sua capacidade de maneira semelhante; eles sempre trabalhariam com 95% de sua capacidade. Nesse mesmo período a fábrica trabalharia sempre com sua capacidade máxima.

O centro de distribuição teria seu nível de utilização da capacidade variando. No segundo período, utilizaria 95% de sua capacidade, sendo que este número decresceria para 85,5% no período seguinte devido à queda no número de produtos estocados.

No quarto período o índice cresceria, atingindo seu ponto máximo; toda a capacidade seria utilizada no estoque de produtos e no atendimento da demanda daquele período, a maior simulada nesse cenário. No quinto período, último com produtos estocados, o nível de utilização seria de 99,5%.

O sexto período possui uma demanda total de 181 produtos; para atendê-la, a fábrica usaria 95,3% de sua capacidade. Já os fornecedores, as fábricas intermediárias e o centro de distribuição trabalhariam com 90,5% de sua capacidade.

#### 5.7.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 7

Os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto são superiores aos que poderiam ser conseguidos com o modelo padrão, os quais estão expostos de maneira simplificada na tabela 57:

Tabela 57 - Resultados que poderiam obtidos com o modelo padrão no cenário 7

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 43.437,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 152        | 181        | 190        | 190        | 190        | 181        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

O lucro que poderia ser obtido nessa cadeia de suprimentos com o modelo proposto é de R\$44.454,00. Esse total é maior que o valor de R\$43.437,00, o qual seria obtido com o modelo padrão.

A diferença nos lucros é de R\$1.017, o que pode ser explicado pelo atendimento da demanda.

Com o modelo proposto seriam estocados produtos desde o primeiro período, a fim de atender totalmente as demandas dos períodos 3, 4 e 5, quando não haveria capacidade suficiente para isso. Já com o modelo padrão, não existiria estoque; seriam repassados aos consumidores somente 190 produtos nos períodos 3, 4 e 5, o que não atenderia todas as demandas daqueles períodos.

O gráfico 11, a seguir, demonstra uma comparação entre as demandas que seriam atendidas com os dois modelos.

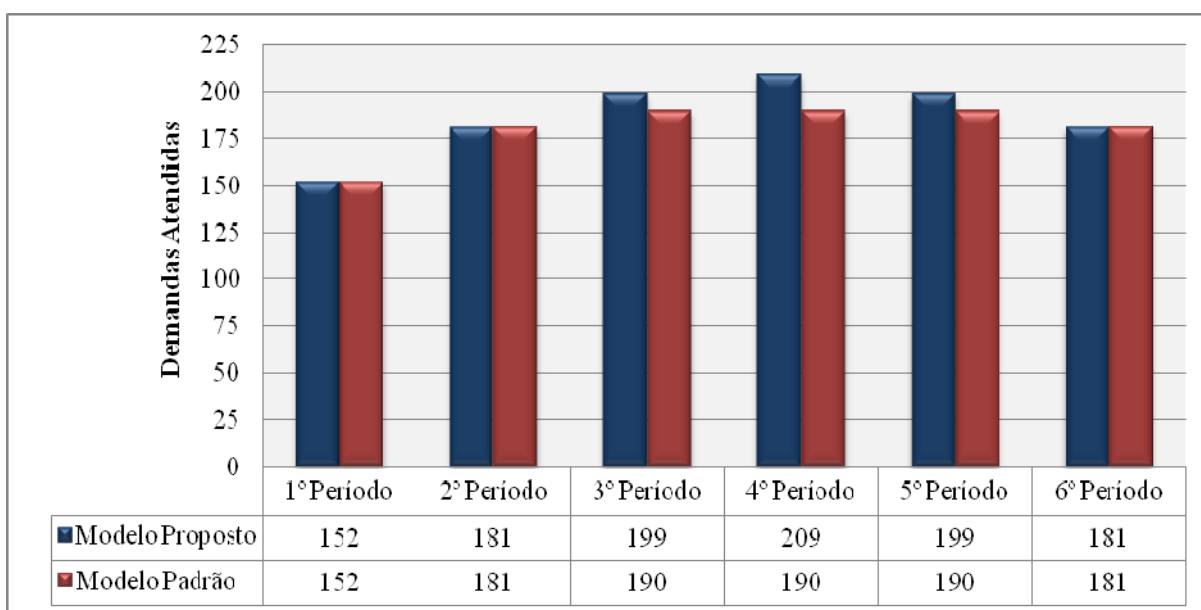


Gráfico 11 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 7

Fonte: Autor.

## 5.8 - Análise dos resultados do cenário 8

O oitavo cenário apresenta uma situação diferente das anteriores. Nesse cenário, a demanda se mantém igual ao longo dos seis períodos; contudo, quatro organizações têm

problemas que afetam suas capacidades. Esses problemas ocorrem em três diferentes períodos e comprometem a capacidade das organizações de maneira diferente.

A aplicação do modelo proposto nesse cenário tinha como objetivo verificar sua efetividade diante de uma situação diferente das anteriores, nas quais houve variações nas demandas dos consumidores.

Esperava-se que o modelo também respondesse positivamente às variações na capacidade. Para isso, ele deveria determinar uma quantidade ótima de produtos a serem produzidos e estocados para lidar com os problemas de capacidade, e ao mesmo tempo atender as demandas.

Os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto são positivos. O lucro total da cadeia seria maximizado e atingiria um valor de R\$ 45.419,00.

Com a aplicação do modelo, os problemas que afetariam as organizações não interfeririam no atendimento das demandas, as quais seriam totalmente atendidas. (Tabela 58)

Tabela 58 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 8

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 65           | 65        | 60           | 60        | 65           | 65        | 190       | 190       |
| <b>2º Período</b> | 60           | 60        | 66           | 66        | 64           | 64        | 190       | 190       |
| <b>3º Período</b> | 61           | 61        | 63           | 63        | 66           | 66        | 190       | 190       |
| <b>4º Período</b> | 64           | 64        | 64           | 64        | 62           | 62        | 190       | 190       |
| <b>5º Período</b> | 63           | 63        | 65           | 65        | 62           | 62        | 190       | 190       |
| <b>6º Período</b> | 66           | 66        | 63           | 63        | 61           | 61        | 190       | 190       |

Fonte: Autor.

Porém, para atender a essas demandas seria necessário estocar produtos. Os estoques ocorreriam sempre nas fábricas intermediárias, como está exposto na tabela 31, a qual mostra as quantidades de produtos que seriam estocados em cada organização dessa cadeia.

A fábrica intermediária 1 armazenaria produtos somente durante um período, o primeiro, no qual seriam estocados 20 produtos. Eles seriam utilizados para suprir as demandas do segundo período, quando ocorreriam problemas na fábrica intermediária 1 e no fornecedor 2.



A fábrica intermediária 2, por sua vez, estocaria produtos em três períodos diferentes. Ela produziria e armazenaria 20 produtos no período 1 e 40 produtos no período seguinte.

Esses estoques seriam totalmente utilizados para combater o problema que ocorre com o fornecedor 3 durante o terceiro período. Sendo assim, a quantidade armazenada no período 3 seria igual a 0.

Ainda na fábrica intermediária 2 seriam estocados mais 20 produtos no quarto período, com o objetivo de suprir a demanda do período seguinte - quando ocorre um problema com a própria organização, que perde 15% de sua capacidade.

Os problemas simulados nesse cenário e a quantidade de produtos que seriam estocados para combatê-los afetam diretamente o nível de utilização das capacidades de cada uma das organizações.

A tabela 59, vista na sequência, mostra uma comparação entre as capacidades que seriam utilizadas e as capacidades disponíveis de cada organização.

Tabela 59 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 8

| Períodos   |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | Utilizada  | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 2º Período | Utilizada  | 720          | 720          | 800          | 800          | 360                     | 400                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 720          | 800          | 800          | 360                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 3º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 680          | 680          | 380                     | 340                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 680          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 4º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 800          | 800          | 380                     | 400                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 5º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 720          | 720          | 380                     | 360                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 360                     | 190     | 200                    |
| 6º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

Analisando-se a tabela 59 percebe-se um aumento no nível de utilização, principalmente nos fornecedores e nas fábricas intermediárias.

Todos os fornecedores trabalhariam com sua capacidade máxima em pelo menos um período. O fornecedor 1 apresentaria capacidade ociosa por mais tempo, utilizando 100% de sua capacidade somente no primeiro período. No segundo período a utilização cairia para 90%, atingindo o nível de 95% durante os quatro demais períodos.

O fornecedor 2 usaria plena capacidade apenas nos dois primeiros períodos; nos quatro demais utilizaria somente 95% da capacidade. O fornecedor 3 trabalharia com capacidade

máxima por mais tempo, durante os quatro primeiros períodos; nos demais, usaria apenas 90% e 95%.

Por fim, o fornecedor 4 trabalharia com 100% de sua capacidade no primeiro e no segundo períodos. No terceiro, o nível de utilização decresceria para 90%, atingindo novamente 100% no quarto. Já nos últimos dois períodos essa organização usaria, respectivamente, 90% e 95% de sua capacidade.

As fábricas intermediárias, como mencionado, também seriam diretamente afetadas. A fábrica intermediária 1 possuiria um nível de utilização de 100% nos dois primeiros períodos, e 95% nos demais. Já a fábrica intermediária 2 utilizaria sua capacidade máxima durante quatro períodos, nos outros dois usaria 85% e 95%.

As demais organizações da cadeia de suprimentos não seriam afetadas pelos problemas. A fábrica e o centro de distribuição trabalhariam sempre com um nível de utilização mínimo para atender a demanda de 190 produtos por período.

Assim, a fábrica usaria sempre sua capacidade máxima de produção e o centro de distribuição utilizaria consecutivamente 95%.

#### 5.8.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 8

Os resultados que seriam obtidos para o cenário 8, com a aplicação do modelo proposto, novamente são diferentes dos que poderiam ser alcançados com o modelo padrão. Esses últimos estão demonstrados na tabela 60:

Tabela 60 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 8

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 44.119,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 190        | 180        | 170        | 190        | 180        | 190        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

Observa-se na tabela 60 que o lucro que seria obtido com o modelo padrão, R\$44.119,00, é inferior ao que se conseguiria com aplicação do modelo proposto, R\$ 45.419,00.

Essa diferença nos lucros é resultado do fato de o modelo padrão não estocar produtos, os quais auxiliariam no atendimento das demandas do segundo, terceiro e quinto períodos.

Com a utilização do modelo proposto seriam estocados produtos nas fábricas intermediárias 1 e 2, no primeiro, no segundo e no quarto períodos. Com isso seria possível atender a todas as demandas, amenizando os problemas que causam queda nas capacidades das organizações.

O gráfico 12, a seguir, mostra uma comparação entre as demandas que seriam atendidas com os dois modelos. Ele expõe os resultados positivos atingidos com o modelo proposto por este estudo.

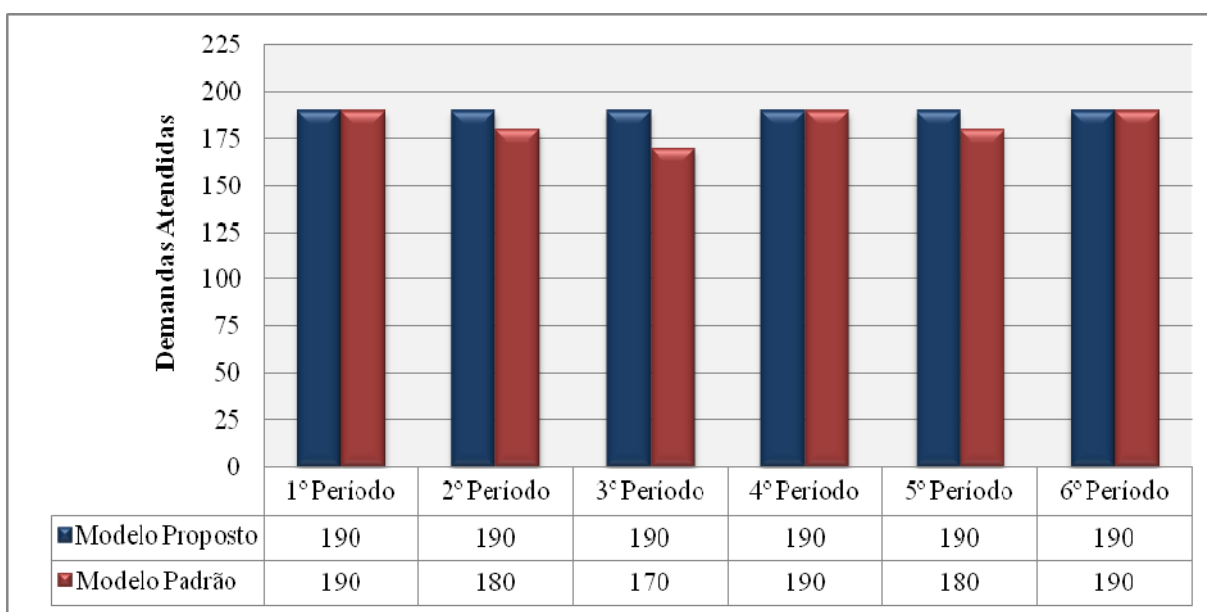


Gráfico 12 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 8

Fonte: Autor.

## 5.9 - Análise dos resultados do cenário 9

O cenário 9 representa uma situação onde ocorrem: problemas nas organizações, os quais afetam suas capacidades, e variações nas demandas totais previstas.

Foi simulado para verificar a efetividade do modelo perante uma situação com mudanças em duas variáveis da cadeia de suprimentos, cenário inédito até então. Esperava-se que o modelo determinasse se seria mais lucrativo fazer estoques para atender a todas as demandas ou se seria melhor atender somente as demandas possíveis de acordo com a capacidade de produção do período.

Observando-se os resultados percebe-se que, para maximizar o lucro total da cadeia, mais uma vez seria preferível estocar produtos. Com isso, seria possível: atingir um lucro total de R\$ 44.156,00 e atender todas as demandas dos três diferentes consumidores dessa cadeia. A tabela 61, vista adiante, mostra uma comparação entre as demandas previstas e as que seriam atendidas.

Tabela 61 - Demandas que seriam atendidas em relação às previstas no cenário 9

| Períodos          | Demanda      |           |              |           |              |           |           |           |
|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                   | Consumidor 1 |           | Consumidor 2 |           | Consumidor 3 |           | Total     |           |
|                   | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas    | Previstas | Atendidas | Previstas |
| <b>1º Período</b> | 52           | 52        | 48           | 48        | 52           | 52        | 152       | 152       |
| <b>2º Período</b> | 54           | 54        | 59           | 59        | 58           | 58        | 171       | 171       |
| <b>3º Período</b> | 67           | 67        | 69           | 69        | 73           | 73        | 209       | 209       |
| <b>4º Período</b> | 67           | 67        | 67           | 67        | 65           | 65        | 199       | 199       |
| <b>5º Período</b> | 63           | 63        | 65           | 65        | 62           | 62        | 190       | 190       |
| <b>6º Período</b> | 66           | 66        | 63           | 63        | 61           | 61        | 190       | 190       |

Fonte: Autor.

Como mencionado, para atender as demandas seria necessário produzir para estocagem. Esse cenário apresenta o agravante que durante os períodos 3 e 4, nos quais a capacidade não é suficiente para atender as demandas, ocorreriam problemas no fornecedor 2 e nas fábricas intermediárias 1 e 2, afetando ainda mais a capacidade total de produção da cadeia.

Para combater esses problemas e atender totalmente as demandas, o modelo determina que deveriam ser armazenados produtos em três organizações diferentes, como foi exposto na tabela 36.

A primeira organização que deveria estocar produtos seria o fornecedor 2, que durante o segundo período estocaria 40 produtos e assim evitaria que o problema ocorrido na entidade, no período posterior, afetasse o atendimento das demandas.

A segunda organização que estocaria produtos seria a fábrica intermediária 1, que estocaria 20 produtos no terceiro período - impedindo que o seu problema no quarto período compromettesse a produção da cadeia.

Por fim, a última organização que teria que estocar produtos seria o centro de distribuição. Este armazenaria 14, 33 e 9 produtos durante o primeiro, o segundo e o terceiro períodos, consecutivamente.

Com esses estoques seria possível atender todas as demandas; porém, eles influenciariam diretamente a capacidade utilizada de cada organização da cadeia.

A tabela 62, na sequência, expõe uma comparação entre as capacidades que seriam utilizadas e as capacidades disponíveis das organizações nesse cenário. É possível visualizar que a capacidade do fornecedor 2 e da fábrica intermediária 2 seriam 7,5% inferiores no terceiro período. Também se percebe a queda de 10% na capacidade da fábrica intermediária 1 durante o quarto período.

Tabela 62 - Capacidades que seriam utilizadas em relação às disponíveis no cenário 9

| Períodos   |            | Fornecedor 1 | Fornecedor 2 | Fornecedor 3 | Fornecedor 4 | Fábrica Intermediária 1 | Fábrica Intermediária 2 | Fábrica | Centro de Distribuição |
|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|-------------------------|---------|------------------------|
| 1º Período | Utilizada  | 664          | 664          | 664          | 664          | 332                     | 332                     | 166     | 166                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 2º Período | Utilizada  | 760          | 800          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 3º Período | Utilizada  | 780          | 740          | 740          | 740          | 390                     | 370                     | 185     | 185                    |
|            | Disponível | 800          | 740          | 800          | 800          | 400                     | 370                     | 190     | 200                    |
| 4º Período | Utilizada  | 720          | 720          | 760          | 760          | 360                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 360                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 5º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |
| 6º Período | Utilizada  | 760          | 760          | 760          | 760          | 380                     | 380                     | 190     | 190                    |
|            | Disponível | 800          | 800          | 800          | 800          | 400                     | 400                     | 190     | 200                    |

Fonte: Autor.

Analisando-se a tabela 62 é possível notar que o nível de utilização da capacidade variaria a cada organização e período. No primeiro período, todas as organizações trabalhariam com menos de 90% de sua capacidade, devido à baixa demanda daquele período.

A partir do segundo período, o nível de utilização crescería, sendo sempre maior que 90% em todas as organizações. O fornecedor 1, por exemplo, trabalharia com 95%, 97,5%, 90%, 95% e 95% do segundo ao sexto períodos.

Nesse cenário, a fábrica novamente seria a organização que mais utilizaria sua capacidade, trabalhando com capacidade máxima no segundo, quarto, quinto e sexto períodos. Além dela, somente o fornecedor 2 e as fábricas intermediárias 1 e 2 usariam sua capacidade máxima.

Esses índices de utilização da capacidade eram esperados. Sabia-se que a fábrica utilizaria sua capacidade máxima por mais tempo, pois ela é o gargalo da cadeia. Também já se esperava que o fornecedor 2 e as fábricas intermediárias utilizassem o máximo de suas capacidades em algum momento, uma vez que os problemas ocorridos nesse cenário aconteceriam nessas organizações.

#### 5.9.1 - Comparação entre os resultados que podem ser obtidos com o modelo proposto e com o modelo padrão para o cenário 9

Os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto são superiores se comparados aos resultados que se alcançariam com o modelo padrão, que estão expostos na tabela 63:

Tabela 63 - Resultados que seriam obtidos com o modelo padrão no cenário 9

| Lucro Total               |            |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 42.807,00                 |            |            |            |            |            |            |
| Períodos                  | 1º Período | 2º Período | 3º Período | 4º Período | 5º Período | 6º Período |
| <b>Demandas atendidas</b> | 152        | 171        | 185        | 180        | 190        | 190        |
| <b>Níveis de Estoque</b>  | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          | 0          |

Fonte: Autor.

O lucro total da cadeia com a aplicação do modelo proposto seria de R\$ 44.156,00, valor maior que o lucro de R\$ 42.807,00 que seria alcançado com o modelo padrão. A diferença de R\$ 1.349,00 dos lucros explica-se pelo atendimento das demandas.

Enquanto o modelo proposto determinaria a criação de estoques em três diferentes organizações durante três períodos, o modelo padrão não utilizaria estoques, não conseguindo atender totalmente as demandas.

O gráfico 13, a seguir, ilustra as demandas que seriam atendidas com ambos os modelos, sendo possível visualizar diferenças no atendimento delas no terceiro e no quarto

período. No terceiro período, com o modelo proposto, se atenderia uma demanda de 204 produtos contra 185 com o modelo padrão. Já no quarto período seria atendida uma demanda de 199 contra 180.

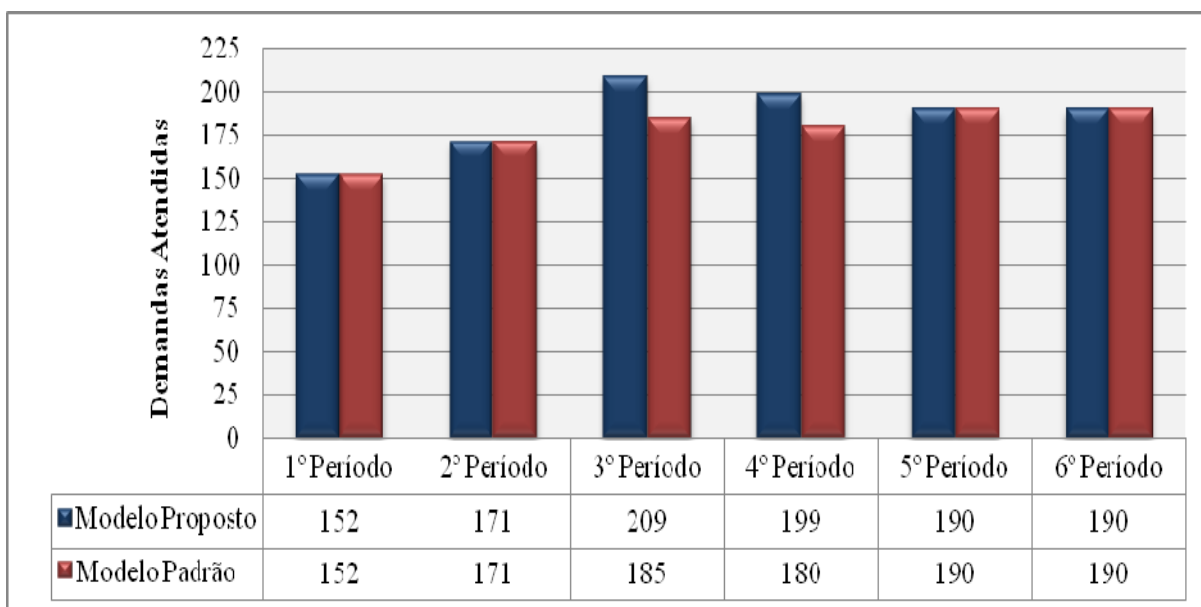


Gráfico 13 - Representação das demandas que seriam atendidas com os dois modelos no cenário 9

Fonte: Autor.

## 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O modelo foi aplicado em nove diferentes cenários, a fim de averiguar sua efetividade perante diversas situações que poderiam ocorrer em uma cadeia real.

Esses cenários foram desenvolvidos a partir de alterações feitas em duas variáveis: as demandas previstas e as capacidades das organizações.

Os sete primeiros cenários simulavam situações nas quais as demandas totais previstas variavam. O oitavo cenário representava uma circunstância onde as capacidades das organizações eram afetadas. Por fim, o cenário 9 caracterizava-se por mudanças em ambas as variáveis.

Em todos os cenários os resultados que seriam obtidos com o a aplicação do modelo proposto podem ser considerados bons. As demandas dos três consumidores seriam totalmente atendidas, mesmo quando existissem circunstâncias que pudessem afetar esse atendimento.

Com o atendimento total das demandas previstas seria possível maximizar o lucro dessa cadeia de suprimentos hipotética em todos os cenários.

Esse fato foi comprovado pelas comparações feitas entre os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto e com outro modelo de gestão.

Os resultados que poderiam ser obtidos com o uso do modelo proposto por este estudo nos cenários 4, 6, 7, 8 e 9 são superiores aos que seriam conseguidos com o modelo padrão. Isso porque, com o modelo proposto, foram criados estoques que possibilitaram o atendimento total das demandas.

Mesmo com os custos de estocagem, os lucros totais que seriam obtidos com a utilização do modelo proposto são maiores. Isso demonstra que, mesmo trabalhando com estoque, é possível alcançar um lucro total para cadeia de suprimentos superior ao que se alcançaria sem nenhum estoque, desde que seja estocada apenas uma quantidade ótima de produtos para se maximizar o lucro.

Ainda analisando os resultados que poderiam ser alcançados com os dois modelos nos cenários 4, 6, 7, 8 e 9, juntamente com a revisão bibliográfica feita sobre compartilhamento de informações, percebeu-se que a utilização de informações de todas as organizações da cadeia de suprimentos influenciou diretamente no resultado final da CS.

As informações sobre a previsão de demanda e sobre os problemas que afetariam as capacidades possibilitaram que o modelo proposto planejasse a criação de estoques com o



objetivo de atender as demandas da melhor maneira possível, e com isso maximizar o lucro global da cadeia de suprimentos.

No cenário 9, por exemplo, as informações sobre as demandas e sobre os problemas que aconteceriam futuramente nas organizações possibilitaram que o modelo determinasse uma quantidade ótima de produtos que deveriam se estocados no período 1 e 2 para atender as demandas dos períodos 3 e 4, quando elas seriam superiores à capacidade máxima de produção dessa cadeia de suprimentos.

Os resultados que seriam obtidos com a aplicação do modelo proposto, juntamente com a revisão bibliográfica feita sobre pesquisa operacional e programação linear, também mostraram que a programação linear é uma ferramenta que pode auxiliar na tomada de decisão em situações relacionadas com a cadeia de suprimentos; isso porque ela fornece um suporte quantitativo ao tomador de decisão.

Assim, pode-se concluir que o modelo de programação linear proposto por este estudo é adequado para ser utilizado como suporte à tomada de decisão em uma cadeia de suprimentos.

A partir deste estudo emergem diversas questões, que podem ser aproveitadas em pesquisas futuras. Assim, para a continuidade deste estudo sugere-se:

- Averiguar através de um estudo qualitativo se as organizações brasileiras estão dispostas e preparadas para utilizar um modelo de programação linear que auxilie as tomadas de decisão em uma cadeia de suprimentos;
- Analisar que organização de uma cadeia de suprimentos deveria centralizar as decisões referentes à cadeia, uma vez que este estudo limitou-se apenas ao desenvolvimento de um modelo de programação linear para auxiliar as decisões, não analisando qual empresa deveria tomar a decisão;
- Levantar e analisar as necessidades de um sistema de informação para a implementação do modelo de programação linear proposto como parte integrante de um sistema de apoio à decisão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKOFF, R. L.; SASIENII, M. W. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: LTC, 1977.

ALVES FILHO, A. G. et al. Pressupostos da gestão da cadeia de suprimentos: evidências de estudos sobre a indústria automobilística. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.11, n.3, p. 275-288, set.-dez. 2004.

ANDRADE, E. L. **Introdução a pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisão**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

BATEMAN, T. S.; SNELL, S. A. **Administração: novo cenário competitivo**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

BECKER, J. L. et al. A concepção e validação de um conjunto de instrumentos quanti-qualitativos para estudar o processo decisório segundo as culturas nacionais e os níveis de experiência decisória. In: ENANPAD - ENCONTRO NACIONAL DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO, 21., 1997, Angra dos Reis. **Anais...** Angra dos Reis: ANPAD, 1997. p.1-15.

BERTO, R.; NAKANO, D. Metodologia da pesquisa e a engenharia de produção. In: ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 18., 1998, Niterói. **Anais eletrônicos...** Niterói: UFF/ABEPRO, 1998. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP1998\\_ART174.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENESEP1998_ART174.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2009.

BORADE, A. B.; BANSOD, S. V. Domain of supply chain management: state of art. **Journal of Technology Management & Innovation**, v.2, n.4, 2007.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeia de suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. **Gestão da cadeia de suprimentos e logística**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

BUOSI, T.; CARPINETTI, L. C. R. Análise, Avaliação e Diagnóstico da Cadeia de Suprimentos: uma análise crítica sobre modelos de referências. In: ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 22., 2002, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: ABREPO, 2002. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002\\_TR11\\_0665.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2002_TR11_0665.pdf)>. Acesso em: 03 maio 2008.

CABEL BARBARÁN, G. M. **Indicadores de desempenho para a avaliação do desenvolvimento de projetos nas indústrias de software**. 1999. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola Politecnica, Universidade de São Paulo.

CARNEIRO, T. C. J.; ARAÚJO, C. A. S. Desafios na implantação do supply chain management. In: ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2003, Ouro Preto. **Anais...** Porto Alegre : ABEPRO, 2003. p. 81-81.

CARVALHO, M. F. Importância da informação no desempenho da cadeia de suprimentos: um estudo exploratório. In: SIMPEP - SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12, 2005, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP, 2005. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_12/copiar.php?arquivo=Carvalho\\_MF\\_importancia\\_da\\_inf.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Carvalho_MF_importancia_da_inf.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2009.

CHRISTOPHER, M. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégias para redução de custos e melhoria dos serviços**. São Paulo: Pioneira: 1999.

CHOPRA, S.; MEINDL, P. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: estratégia, planejamento e operação**. São Paulo: Prentice-Hall, 2003.

CLERICUZI, A. Z. **Desenvolvimento adaptativo para um sistema de apoio a decisão específico**. 2006. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Pernambuco.

CORRAR, L. J.; THEÓPHILO, C. R. (coord.). **Pesquisa operacional para decisão em contabilidade e administração**. São Paulo: Atlas, 2004.

COSTA, J. C.; RODRIGUEZ, J. B.; LADEIRA, W. J. A gestão da cadeia de suprimentos: teoria e prática. In: ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABEPRO, 2005, p.691-698.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. <http://cscmp.org/>, acesso em: 07 fev. 2009.

CROSON, R.; DONOHUE, K. Behavioral causes of the bullwhip effect and the observed value of inventory information. **Management Science**, v. 52, n. 3, p. 323-336, mar. 2006.

CROXTON, K. L. et al. The supply chain management processes. **The International Journal of Logistics Management**, v. 12, n. 2, p.13-36, 2001.

CUNHA, F. G. M. **Generalizações dos algoritmos afim escala primal e dual e um algoritmo proximal para programação quase convexa**. 2007. 91 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Sistemas e Computação) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DORNIER, P. et al. **Logística e operações globais: textos e casos**. São Paulo: Atlas, 2000.

FREITAS, H.; KLADIS, C. M. O processo decisório: modelos e dificuldades. **Revista Decidir**. Rio de Janeiro, ano 2, n.8, p.30-34, mar. 1995.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDBARG, M. C.; LUNA, H. P. **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

GOMES, C. F. S.; RIBEIROS, P. C. C. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 8. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

HILSDORF, W. C. **A Integração de processos na cadeia de suprimentos e o desempenho no serviço ao cliente: um estudo na cadeia calçadista**. 2007. 116 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

\_\_\_\_\_; ROTONDARO, R. G.; PIRES, S. R. I. Integração de processos na cadeia de suprimentos e desempenho do serviço ao cliente: um estudo na indústria calçadista de Franca. **Gestão e Produção**, São Carlos, v.16, n.2, p.232-244, abr.-jun. 2009.

HUMPHRIES, A. S.; WILDING, R. Partnerships in UK defence procurement: a supply chain management perspective. **The International Journal of Logistics Management**, v.12, n.1, p. 83-96, 2001.

KANTER, R. M. Collaborative advantage: the art of alliances. **Harvard Business Review**, vol. 72, n.4, p.96-108, jul.- ago. 1994.

LAMBERT, D. M. The eight essential supply chain management processes. **Supply Chain Management Review**. v.8, n.6, p.18-26, 2004.

\_\_\_\_\_; COOPER, M. C. Issues in supply chain management. **Industrial Marketing Management**, v. 29, n.1, p.65-83, 2000.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; PAGH, J. D. Supply chain management: implementation issues and research opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v.8 , n.2 , p. 1-19, 1998.

\_\_\_\_\_; EMMELHAINZ, M. A.; GARDNER, J. T. Developing and implementing supply chain partnerships. **The International Journal of Logistics Management**, v.7, n.2, p.1-17, nov. 1996.

\_\_\_\_\_; GARCÍA-DAGUSTE, S. J.; CROXTON, K. L. The role of logistics managers in the cross-functional implementation of supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v. 29, n.1, p. 113-132, 2008.

\_\_\_\_\_; KNEMEYER, A. M.; GARDNER, J. T. Supply chain partnerships: model validation and implementation. **Journal of Business Logistics**, v.25, n.2, p.21-42, 2004.

\_\_\_\_\_; STOCK, J. R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of logistics management**. New York: Irwin-McGraw Hill, 1998.

LAMMING, R. et al. An initial classification of supply networks. **International Journal of Operations and Production Management**, v.20, n.6, p.675-691, 2000.

LUMMUS, R.R.; VOKURKA, R. J. Defining supply chain management: a historical perspective and practical guidelines. **Industrial Management & Data Systems**, v.1, p.11-17, 1999.

MANUJ, I.; MENTZER, J. T. Global supply chain risk management. **Journal of Business Logistics**, v.29, n.1, p.133-155, 2008.

MARAKAS, G. M. **Decision Support Systems in the 21st Century**. New Jersey, USA: Prentice-Hall, 1999.

MASSOTE, A. A.; NOGUEIRA NETO, M. S. Advantages of an Exclusive Management Link Applied in a Supply Network Demonstrated by Linear Programming. In: IERC - Industrial Engineering Research Conference, 2007, Nashville. **Anais...** Nashville: Institute of Industrial Engineering, 2007. p.155-155.

MCHUGH, M.; HUMPHREYS, P.; MCLVOR, R. Buyer-supplier relationships and organizational health. **Journal of Supply Chain Management**, v.39, n.2, p.15-25, maio 2003.

MENTZER, J. T. et al. Defining supply chain management. **Journal of Business Logistics**, v.22, n.2, p.1-25, 2001.

\_\_\_\_\_; MIN, S.; ZACHARIA, Z. G. The nature of interfirm partnering in supply chain management. **Journal of Retailing**, v.76, n.4, p.549-568, 2000.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Produção**, v.17, n.1, p.216-229, jan.-abr. 2007.

MILAN, P. **Modelagem matemática para a otimização da produção de cafés finos**: um estudo de caso. 2008. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MORSE, P.M.; KIMBALL, G.F. **Methods of Operations Research**. Cambridge: Mit, 1951.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

PARRA, P. H.; PIRES, S. R. I. Análise da gestão da cadeia de suprimentos na indústria de computadores. **Gestão & Produção**, São Carlos, v.10, n.1, p.1-15, abr.2003.

PEARSON, J. M.; SHIM, J. P. An empirical investigation into DSS structures and environments. **Decision Support Systems**, v.13, n.2, p.141-158, fev. 1995.

PEREIRA, M. J. L. B.; FONSECA, J. G. M **Faces da decisão**: as mudanças de paradigmas e o poder da decisão. São Paulo: Makron Books, 1997.

PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos (supply chain management)**: conceitos, estratégias, práticas e casos. São Paulo: Atlas, 2007.

PRADELLA, C. A.; SILVA, W. R. A evolução das cadeias de suprimentos e a contribuição do sistema ERP. **Revista Gestão Industrial**, v.1, n.2, p.155-168, 2005.

RAGSDALE, Cliff T. **Spreadsheet modeling and decision analysis**: a practical introduction to management science. 4. ed.. Cincinnati: South Western College Publishing, 2004.

RIOS, L. R.; MAÇADA, A. C. G.; BECKER, J. L. Modelo de decisão para o planejamento da capacidade nos terminais de *containers*. In: ENEGEP - ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23, 2003, Ouro Preto. **Anais...** Porto Alegre : ABEPRO, 2003.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Prentice-Hall, 2004.

ROBBINS, S. P. **Administração**: mudanças e perspectivas. São Paulo: Saraiva, 2002.

RUSSEL, Stephen H. Supply chain management: more than integrated logistics. **Air Force Journal of Logistics**. USA, v.31, n.2, p.55-63, 2007.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

SCAFF, V. P.; LIMA, R. S.; ALMEIDA, D. A. Sistemas de informação como ferramenta de apoio à decisão na logística. In: SIMPEP - SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12, 2005, Bauru. **Anais eletrônicos...** Bauru: UNESP, 2005. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais\\_12/copiar.php?arquivo=Scaff\\_VPS\\_SistemaDeInformacaoC.pdf](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_12/copiar.php?arquivo=Scaff_VPS_SistemaDeInformacaoC.pdf)>. Acesso em: 03 abr. 2009.

SHAMBLIN, J. E.; STEVENS Jr., G. T. **Pesquisa operacional**: uma abordagem básica. São Paulo: Atlas, 1979.

SHAPIRO, J. F. **Modeling the supply chain**. Pacific Grove: Duxbury, 2001

SHIM, J. P. et al. Past, present, and future of decision support technology. **Decision Support Systems**, v.33, p.111-126, fev. 2002.

SHIMIZU, T. **Decisões nas organizações**: introdução aos problemas de decisão encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão. São Paulo: Atlas, 2001.

SILVA, E. M. D. et al. **Pesquisa Operacional**: programação linear. 3. ed.. São Paulo: Atlas, 1998.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos**: projeto e gestão. Porto Alegre: Bookman, 2003.

SIMON, H. A. **Administrative behavior**: a study of decision-making process in administrative organizations. 4. ed. New York: Free press, 1997.

\_\_\_\_\_. **A capacidade de decisão e liderança**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1963.

SLACK, N.; JOHNSTON, R.; CHAMBERS, S. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

SOUZA, F. B.; MANFRINATO, J. W. S. Theory of constraints and linear programming: a conceptual analysis. In: ICIEOM - INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND OPERATIONS MANAGEMENT, 13., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu : ABEPRO, 2007.

SPRAGUE JR., RALPH H.; WATSON, H. J. **Sistemas de apoio a decisão**: colocando a teoria em pratica. Rio de janeiro: Campus, 1991.

STAIR, R. M.; REYNOLDS, G. W. **Princípios de sistemas de informação**: uma abordagem gerencial. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

TAHA, H. A. **Pesquisa operacional**: uma visão geral. 8. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2008.

TEIXEIRA JUNIOR, R. F. **Sistema de apoio à decisão para programação da produção em fundições de mercado**. 2005. 373 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos.



TURBAN, E. **Decision support and expert systems:** management support systems. 4. ed. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1995.

WERMUTH, S. L. P. **Modelagem matemática e computacional de um sistema de apoio à decisão na indústria.** 2007. 168 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Processos Industriais) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul.

YIN, R. K. **Estudo de caso:** planejamento e métodos. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

## APÊNDICE A

$\text{Max } 37\text{DR1K1} + 41\text{DR1K2} + 42\text{DR1K3} + 36\text{DR2K1} + 40\text{DR2K2} + 44\text{DR2K3} + 38\text{DR3K1}$   
 $+ 42\text{DR3K2} + 40\text{DR3K3} + 39\text{DR4K1} + 42\text{DR4K2} + 39\text{DR4K3} + 43\text{DR5K1} + 39\text{DR5K2} +$   
 $38\text{DR5K3} + 40\text{DR6K1} + 41\text{DR6K2} + 39\text{DR6K3} - 4\text{ED0} - 4\text{ED1} - 4\text{ED2} - 4\text{ED3} - 4\text{ED4} -$   
 $4\text{ED5} - 4\text{ED6} - 4\text{EC0} - 4\text{EC1} - 4\text{EC2} - 4\text{EC3} - 4\text{EC4} - 4\text{EC5} - 4\text{EC6} - 2\text{EBA0} - 2\text{EBA1} -$   
 $2\text{EBA2} - 2\text{EBA3} - 2\text{EBA4} - 2\text{EBA5} - 2\text{EBA6} - 2\text{EBB0} - 2\text{EBB1} - 2\text{EBB2} - 2\text{EBB3} - 2\text{EBB4}$   
 $- 2\text{EBB5} - 2\text{EBB6} - 1\text{EAA0} - 1\text{EAA1} - 1\text{EAA2} - 1\text{EAA3} - 1\text{EAA4} - 1\text{EAA5} - 1\text{EAA6} -$   
 $1\text{EAB0} - 1\text{EAB1} - 1\text{EAB2} - 1\text{EAB3} - 1\text{EAB4} - 1\text{EAB5} - 1\text{EAB6} - 1\text{EAC0} - 1\text{EAC1} - 1\text{EAC2}$   
 $- 1\text{EAC3} - 1\text{EAC4} - 1\text{EAC5} - 1\text{EAC6} - 1\text{EAD0} - 1\text{EAD1} - 1\text{EAD2} - 1\text{EAD3} - 1\text{EAD4} -$   
 $1\text{EAD5} - 1\text{EAD6}$

s.t.

!      Parâmetros do Modelo

!      Condições Iniciais

EAA0 = 0

EAA6 = 0

EAB0 = 0

EAB6 = 0

EAC0 = 0

EAC6 = 0

EAD0 = 0

EAD6 = 0

EBA0 = 0

EBA6 = 0

EBB0 = 0

EBB6 = 0

EC0 = 0

EC6 = 0

ED0 = 0

ED6 = 0

! Demandas por período

$$D1K1 = 65$$

$$D1K2 = 60$$

$$D1K3 = 65$$

$$D2K1 = 60$$

$$D2K2 = 66$$

$$D2K3 = 64$$

$$D3K1 = 61$$

$$D3K2 = 63$$

$$D3K3 = 66$$

$$D4K1 = 64$$

$$D4K2 = 64$$

$$D4K3 = 62$$

$$D5K1 = 63$$

$$D5K2 = 65$$

$$D5K3 = 62$$

$$D6K1 = 66$$

$$D6K2 = 63$$

$$D6K3 = 61$$

! Capacidades

! Capacidades do Fornecedor 1 por período

$$FA1 = 800$$

$$FA2 = 800$$

$$FA3 = 800$$

$$FA4 = 800$$

$$FA5 = 800$$

$$FA6 = 800$$

! Capacidades do Fornecedor 2 por período

$$FB1 = 800$$

$$FB2 = 800$$

$$FB3 = 800$$

$$FB4 = 800$$

$$FB5 = 800$$

$$FB6 = 800$$

! Capacidades do Fornecedor 3 por período

$$FC1 = 800$$

$$FC2 = 800$$

$$FC3 = 800$$

$$FC4 = 800$$

$$FC5 = 800$$

$$FC6 = 800$$

! Capacidades do Fornecedor 4 por período

$$FD1 = 800$$

$$FD2 = 800$$

$$FD3 = 800$$

$$FD4 = 800$$

$$FD5 = 800$$

$$FD6 = 800$$

! Capacidades da Fábrica Intermediária 1 por período

$$MA1 = 400$$

$$MA2 = 400$$

$$MA3 = 400$$

$$MA4 = 400$$

$$MA5 = 400$$

$$MA6 = 400$$

! Capacidades da Fábrica Intermediária 2 por período

$$MB1 = 400$$

$$MB2 = 400$$

$$MB3 = 400$$

$$MB4 = 400$$

$$MB5 = 400$$

$$MB6 = 400$$

! Capacidades da Fábrica por período

$$FABR1 = 190$$

$$FABR2 = 190$$

$$FABR3 = 190$$

$$FABR4 = 190$$

$$FABR5 = 190$$

$$FABR6 = 190$$

! Capacidades do Centro de Distribuição por período

$$DIST1 = 200$$

$$DIST2 = 200$$

$$DIST3 = 200$$

$$DIST4 = 200$$

$$DIST5 = 200$$

$$DIST6 = 200$$

! Restrições do Modelo

! Fornecedor 1

$$PAA1 + EAA1 - FA1 \leq 0$$

$$PAA2 + EAA2 - FA2 \leq 0$$

$$PAA3 + EAA3 - FA3 \leq 0$$

$$PAA4 + EAA4 - FA4 \leq 0$$

$$PAA5 + EAA5 - FA5 \leq 0$$

$$PAA6 + EAA6 - FA6 \leq 0$$

!       Fornecedor 2

$$PAB1 + EAB1 - FB1 \leq 0$$

$$PAB2 + EAB2 - FB2 \leq 0$$

$$PAB3 + EAB3 - FB3 \leq 0$$

$$PAB4 + EAB4 - FB4 \leq 0$$

$$PAB5 + EAB5 - FB5 \leq 0$$

$$PAB6 + EAB6 - FB6 \leq 0$$

!       Fornecedor 3

$$PAC1 + EAC1 - FC1 \leq 0$$

$$PAC2 + EAC2 - FC2 \leq 0$$

$$PAC3 + EAC3 - FC3 \leq 0$$

$$PAC4 + EAC4 - FC4 \leq 0$$

$$PAC5 + EAC5 - FC5 \leq 0$$

$$PAC6 + EAC6 - FC6 \leq 0$$

!       Fornecedor 4

$$PAD1 + EAD1 - FD1 \leq 0$$

$$PAD2 + EAD2 - FD2 \leq 0$$

$$PAD3 + EAD3 - FD3 \leq 0$$

$$PAD4 + EAD4 - FD4 \leq 0$$

$$PAD5 + EAD5 - FD5 \leq 0$$

$$PAD6 + EAD6 - FD6 \leq 0$$

!       Fábrica Intermediária 1

$$2PBA1 + 2EBA1 - PAA1 - EAA0 = 0$$

$$2PBA2 + 2EBA2 - PAA2 - EAA1 = 0$$

$$2PBA3 + 2EBA3 - PAA3 - EAA2 = 0$$

$$2PBA4 + 2EBA4 - PAA4 - EAA3 = 0$$

$$2PBA5 + 2EBA5 - PAA5 - EAA4 = 0$$

$$2PBA6 + 2EBA6 - PAA6 - EAA5 = 0$$

$$2PBA1 + 2EBA1 - PAB1 - EAB0 = 0$$

$$2PBA2 + 2EBA2 - PAB2 - EAB1 = 0$$

$$2PBA3 + 2EBA3 - PAB3 - EAB2 = 0$$

$$2PBA4 + 2EBA4 - PAB4 - EAB3 = 0$$

$$2PBA5 + 2EBA5 - PAB5 - EAB4 = 0$$

$$2PBA6 + 2EBA6 - PAB6 - EAB5 = 0$$

$$PBA1 + EBA1 - MA1 \leq 0$$

$$PBA2 + EBA2 - MA2 \leq 0$$

$$PBA3 + EBA3 - MA3 \leq 0$$

$$PBA4 + EBA4 - MA4 \leq 0$$

$$PBA5 + EBA5 - MA5 \leq 0$$

$$PBA6 + EBA6 - MA6 \leq 0$$

! Fábrica Intermediária 2

$$2PBB1 + 2EBB1 - PAC1 - EAC0 = 0$$

$$2PBB2 + 2EBB2 - PAC2 - EAC1 = 0$$

$$2PBB3 + 2EBB3 - PAC3 - EAC2 = 0$$

$$2PBB4 + 2EBB4 - PAC4 - EAC3 = 0$$

$$2PBB5 + 2EBB5 - PAC5 - EAC4 = 0$$

$$2PBB6 + 2EBB6 - PAC6 - EAC5 = 0$$

$$2PBB1 + 2EBB1 - PAD1 - EAD0 = 0$$

$$2PBB2 + 2EBB2 - PAD2 - EAD1 = 0$$

$$2PBB3 + 2EBB3 - PAD3 - EAD2 = 0$$

$$2PBB4 + 2EBB4 - PAD4 - EAD3 = 0$$

$$2PBB5 + 2EBB5 - PAD5 - EAD4 = 0$$

$$2PBB6 + 2EBB6 - PAD6 - EAD5 = 0$$

$$PBB1 + EBB1 - MB1 \leq 0$$

$$PBB2 + EBB2 - MB2 \leq 0$$

$$PBB3 + EBB3 - MB3 \leq 0$$

$$PBB4 + EBB4 - MB4 \leq 0$$

$$PBB5 + EBB5 - MB5 \leq 0$$

$$PBB6 + EBB6 - MB6 \leq 0$$

! Fábrica

$$2PC1 + 2EC1 - PBA1 - EBA0 = 0$$

$$2PC2 + 2EC2 - PBA2 - EBA1 = 0$$

$$2PC3 + 2EC3 - PBA3 - EBA2 = 0$$

$$2PC4 + 2EC4 - PBA4 - EBA3 = 0$$

$$2PC5 + 2EC5 - PBA5 - EBA4 = 0$$

$$2PC6 + 2EC6 - PBA6 - EBA5 = 0$$

$$2PC1 + 2EC1 - PBB1 - EBB0 = 0$$

$$2PC2 + 2EC2 - PBB2 - EBB1 = 0$$

$$2PC3 + 2EC3 - PBB3 - EBB2 = 0$$

$$2PC4 + 2EC4 - PBB4 - EBB3 = 0$$

$$2PC5 + 2EC5 - PBB5 - EBB4 = 0$$

$$2PC6 + 2EC6 - PBB6 - EBB5 = 0$$

$$PC1 + EC1 - FABR1 \leq 0$$

$$PC2 + EC2 - FABR2 \leq 0$$

$$PC3 + EC3 - FABR3 \leq 0$$

$$PC4 + EC4 - FABR4 \leq 0$$

$$PC5 + EC5 - FABR5 \leq 0$$

$$PC6 + EC6 - FABR6 \leq 0$$

! Centro de Distribuição

$$PD1 + ED1 - PC1 - EC0 = 0$$

$$PD2 + ED2 - PC2 - EC1 = 0$$

$$PD3 + ED3 - PC3 - EC2 = 0$$

$$PD4 + ED4 - PC4 - EC3 = 0$$

$$PD5 + ED5 - PC5 - EC4 = 0$$

$$PD6 + ED6 - PC6 - EC5 = 0$$

$$PD1 + ED1 - DIST1 \leq 0$$

$$PD2 + ED2 - DIST2 \leq 0$$

$$PD3 + ED3 - DIST3 \leq 0$$

$$PD4 + ED4 - DIST4 \leq 0$$

$$PD5 + ED5 - DIST5 \leq 0$$

$$PD6 + ED6 - DIST6 \leq 0$$



! Varejo

$$DR1 - PD1 - ED0 = 0$$

$$DR2 - PD2 - ED1 = 0$$

$$DR3 - PD3 - ED2 = 0$$

$$DR4 - PD4 - ED3 = 0$$

$$DR5 - PD5 - ED4 = 0$$

$$DR6 - PD6 - ED5 = 0$$

! Equações de ligação

! Demanda realmente atendida por período e por consumidor

$$DR1K1 - D1K1 \leq 0$$

$$DR1K2 - D1K2 \leq 0$$

$$DR1K3 - D1K3 \leq 0$$

$$DR2K1 - D2K1 \leq 0$$

$$DR2K2 - D2K2 \leq 0$$

$$DR2K3 - D2K3 \leq 0$$

$$DR3K1 - D3K1 \leq 0$$

$$DR3K2 - D3K2 \leq 0$$

$$DR3K3 - D3K3 \leq 0$$

$$DR4K1 - D4K1 \leq 0$$

$$DR4K2 - D4K2 \leq 0$$

$$DR4K3 - D4K3 \leq 0$$

$$DR5K1 - D5K1 \leq 0$$

$$DR5K2 - D5K2 \leq 0$$

$$DR5K3 - D5K3 \leq 0$$

$$DR6K1 - D6K1 \leq 0$$

$$DR6K2 - D6K2 \leq 0$$

$$DR6K3 - D6K3 \leq 0$$

! Demanda realmente atendida por período

DR1 - DR1K1 - DR1K2 - DR1K3 = 0

DR2 - DR2K1 - DR2K2 - DR2K3 = 0

DR3 - DR3K1 - DR3K2 - DR3K3 = 0

DR4 - DR4K1 - DR4K2 - DR4K3 = 0

DR5 - DR5K1 - DR5K2 - DR5K3 = 0

DR6 - DR6K1 - DR6K2 - DR6K3 = 0

END

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 74

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 45619.00

| VARIABLE | VALUE     | REDUCED COST |
|----------|-----------|--------------|
| DR1K1    | 65.000000 | 0.000000     |
| DR1K2    | 60.000000 | 0.000000     |
| DR1K3    | 65.000000 | 0.000000     |
| DR2K1    | 60.000000 | 0.000000     |
| DR2K2    | 66.000000 | 0.000000     |
| DR2K3    | 64.000000 | 0.000000     |
| DR3K1    | 61.000000 | 0.000000     |
| DR3K2    | 63.000000 | 0.000000     |
| DR3K3    | 66.000000 | 0.000000     |
| DR4K1    | 64.000000 | 0.000000     |
| DR4K2    | 64.000000 | 0.000000     |
| DR4K3    | 62.000000 | 0.000000     |
| DR5K1    | 63.000000 | 0.000000     |
| DR5K2    | 65.000000 | 0.000000     |
| DR5K3    | 62.000000 | 0.000000     |
| DR6K1    | 66.000000 | 0.000000     |
| DR6K2    | 63.000000 | 0.000000     |
| DR6K3    | 61.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE    | REDUCED COST |
|----------|----------|--------------|
| ED0      | 0.000000 | 0.000000     |
| ED1      | 0.000000 | 41.000000    |
| ED2      | 0.000000 | 4.000000     |
| ED3      | 0.000000 | 4.000000     |
| ED4      | 0.000000 | 4.000000     |
| ED5      | 0.000000 | 4.000000     |
| ED6      | 0.000000 | 4.000000     |
| EC0      | 0.000000 | 0.000000     |
| EC1      | 0.000000 | 41.000000    |
| EC2      | 0.000000 | 4.000000     |
| EC3      | 0.000000 | 4.000000     |
| EC4      | 0.000000 | 4.000000     |
| EC5      | 0.000000 | 4.000000     |
| EC6      | 0.000000 | 4.000000     |
| EBA0     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBA1     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBA2     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBA3     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBA4     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBA5     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBA6     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBB0     | 0.000000 | 0.000000     |
| EBB1     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBB2     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBB3     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBB4     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBB5     | 0.000000 | 2.000000     |
| EBB6     | 0.000000 | 2.000000     |
| EAA0     | 0.000000 | 1.000000     |
| EAA1     | 0.000000 | 1.000000     |
| EAA2     | 0.000000 | 1.000000     |
| EAA3     | 0.000000 | 1.000000     |
| EAA4     | 0.000000 | 1.000000     |

| VARIABLE | VALUE     | REDUCED COST |
|----------|-----------|--------------|
| EAA5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAA6     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB0     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB1     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB2     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB3     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB4     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB6     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC0     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC1     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC2     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC3     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC4     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC6     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD0     | 0.000000  | 0.000000     |
| EAD1     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD2     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD3     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD4     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD6     | 0.000000  | 1.000000     |
| D1K1     | 65.000000 | 0.000000     |
| D1K2     | 60.000000 | 0.000000     |
| D1K3     | 65.000000 | 0.000000     |
| D2K1     | 60.000000 | 0.000000     |
| D2K2     | 66.000000 | 0.000000     |
| D2K3     | 64.000000 | 0.000000     |
| D3K1     | 61.000000 | 0.000000     |
| D3K2     | 63.000000 | 0.000000     |
| D3K3     | 66.000000 | 0.000000     |
| D4K1     | 64.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| D4K2     | 64.000000  | 0.000000     |
| D4K3     | 62.000000  | 0.000000     |
| D5K1     | 63.000000  | 0.000000     |
| D5K2     | 65.000000  | 0.000000     |
| D5K3     | 62.000000  | 0.000000     |
| D6K1     | 66.000000  | 0.000000     |
| D6K2     | 63.000000  | 0.000000     |
| D6K3     | 61.000000  | 0.000000     |
| FA1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA6      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB6      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC6      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD6      | 800.000000 | 0.000000     |
| MA1      | 400.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| MA2      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA3      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA4      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA5      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA6      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB1      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB2      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB3      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB4      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB5      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB6      | 400.000000 | 0.000000     |
| FABR1    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR2    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR3    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR4    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR5    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR6    | 190.000000 | 0.000000     |
| DIST1    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST2    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST3    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST4    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST5    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST6    | 200.000000 | 0.000000     |
| PAA1     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA3     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA4     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB1     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB3     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB4     | 760.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| PAB5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC1     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC3     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC4     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD1     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD3     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD4     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PBA1     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA2     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA3     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA4     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA5     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA6     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB1     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB2     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB3     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB4     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB5     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB6     | 380.000000 | 0.000000     |
| PC1      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC2      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC3      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC4      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC5      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC6      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD1      | 190.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| PD2      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD3      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD4      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD5      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD6      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR1      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR2      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR3      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR4      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR5      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR6      | 190.000000 | 0.000000     |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
| 2)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 3)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 4)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 5)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 6)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 7)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 8)  | 0.000000         | -1.000000   |
| 9)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 10) | 0.000000         | 0.000000    |
| 11) | 0.000000         | 0.000000    |
| 12) | 0.000000         | -2.000000   |
| 13) | 0.000000         | 0.000000    |
| 14) | 0.000000         | 33.000000   |
| 15) | 0.000000         | 0.000000    |
| 16) | 0.000000         | 33.000000   |
| 17) | 0.000000         | 0.000000    |
| 18) | 0.000000         | 0.000000    |
| 19) | 0.000000         | 4.000000    |
| 20) | 0.000000         | 5.000000    |



| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
| 21) | 0.000000         | 36.000000   |
| 22) | 0.000000         | 40.000000   |
| 23) | 0.000000         | 44.000000   |
| 24) | 0.000000         | 38.000000   |
| 25) | 0.000000         | 42.000000   |
| 26) | 0.000000         | 40.000000   |
| 27) | 0.000000         | 39.000000   |
| 28) | 0.000000         | 42.000000   |
| 29) | 0.000000         | 39.000000   |
| 30) | 0.000000         | 43.000000   |
| 31) | 0.000000         | 39.000000   |
| 32) | 0.000000         | 38.000000   |
| 33) | 0.000000         | 40.000000   |
| 34) | 0.000000         | 41.000000   |
| 35) | 0.000000         | 39.000000   |
| 36) | 0.000000         | 0.000000    |
| 37) | 0.000000         | 0.000000    |
| 38) | 0.000000         | 0.000000    |
| 39) | 0.000000         | 0.000000    |
| 40) | 0.000000         | 0.000000    |
| 41) | 0.000000         | 0.000000    |
| 42) | 0.000000         | 0.000000    |
| 43) | 0.000000         | 0.000000    |
| 44) | 0.000000         | 0.000000    |
| 45) | 0.000000         | 0.000000    |
| 46) | 0.000000         | 0.000000    |
| 47) | 0.000000         | 0.000000    |
| 48) | 0.000000         | 0.000000    |
| 49) | 0.000000         | 0.000000    |
| 50) | 0.000000         | 0.000000    |
| 51) | 0.000000         | 0.000000    |
| 52) | 0.000000         | 0.000000    |
| 53) | 0.000000         | 0.000000    |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
| 54) | 0.000000         | 0.000000    |
| 55) | 0.000000         | 0.000000    |
| 56) | 0.000000         | 0.000000    |
| 57) | 0.000000         | 0.000000    |
| 58) | 0.000000         | 0.000000    |
| 59) | 0.000000         | 0.000000    |
| 60) | 0.000000         | 0.000000    |
| 61) | 0.000000         | 0.000000    |
| 62) | 0.000000         | 0.000000    |
| 63) | 0.000000         | 0.000000    |
| 64) | 0.000000         | 0.000000    |
| 65) | 0.000000         | 0.000000    |
| 66) | 0.000000         | 0.000000    |
| 67) | 0.000000         | 0.000000    |
| 68) | 0.000000         | 0.000000    |
| 69) | 0.000000         | 0.000000    |
| 70) | 0.000000         | 0.000000    |
| 71) | 0.000000         | 0.000000    |
| 72) | 0.000000         | 37.000000   |
| 73) | 0.000000         | 0.000000    |
| 74) | 0.000000         | 0.000000    |
| 75) | 0.000000         | 0.000000    |
| 76) | 0.000000         | 0.000000    |
| 77) | 0.000000         | 0.000000    |
| 78) | 0.000000         | 0.000000    |
| 79) | 0.000000         | 0.000000    |
| 80) | 0.000000         | 0.000000    |
| 81) | 0.000000         | 0.000000    |
| 82) | 0.000000         | 0.000000    |
| 83) | 0.000000         | 0.000000    |
| 84) | 40.000000        | 0.000000    |
| 85) | 40.000000        | 0.000000    |
| 86) | 40.000000        | 0.000000    |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 87)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 88)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 89)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 90)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 91)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 92)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 93)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 94)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 95)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 96)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 97)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 98)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 99)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 100) | 40.000000        | 0.000000    |
| 101) | 40.000000        | 0.000000    |
| 102) | 40.000000        | 0.000000    |
| 103) | 40.000000        | 0.000000    |
| 104) | 40.000000        | 0.000000    |
| 105) | 40.000000        | 0.000000    |
| 106) | 40.000000        | 0.000000    |
| 107) | 40.000000        | 0.000000    |
| 108) | 0.000000         | 0.000000    |
| 109) | 0.000000         | 0.000000    |
| 110) | 0.000000         | 0.000000    |
| 111) | 0.000000         | 0.000000    |
| 112) | 0.000000         | 0.000000    |
| 113) | 0.000000         | 0.000000    |
| 114) | 0.000000         | 0.000000    |
| 115) | 0.000000         | 0.000000    |
| 116) | 0.000000         | 0.000000    |
| 117) | 0.000000         | 0.000000    |
| 118) | 0.000000         | 0.000000    |
| 119) | 0.000000         | 0.000000    |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 120) | 20.000000        | 0.000000    |
| 121) | 20.000000        | 0.000000    |
| 122) | 20.000000        | 0.000000    |
| 123) | 20.000000        | 0.000000    |
| 124) | 20.000000        | 0.000000    |
| 125) | 20.000000        | 0.000000    |
| 126) | 0.000000         | 0.000000    |
| 127) | 0.000000         | 0.000000    |
| 128) | 0.000000         | 0.000000    |
| 129) | 0.000000         | 0.000000    |
| 130) | 0.000000         | 0.000000    |
| 131) | 0.000000         | 0.000000    |
| 132) | 0.000000         | 0.000000    |
| 133) | 0.000000         | 0.000000    |
| 134) | 0.000000         | 0.000000    |
| 135) | 0.000000         | 0.000000    |
| 136) | 0.000000         | 0.000000    |
| 137) | 0.000000         | 0.000000    |
| 138) | 20.000000        | 0.000000    |
| 139) | 20.000000        | 0.000000    |
| 140) | 20.000000        | 0.000000    |
| 141) | 20.000000        | 0.000000    |
| 142) | 20.000000        | 0.000000    |
| 143) | 20.000000        | 0.000000    |
| 144) | 0.000000         | 0.000000    |
| 145) | 0.000000         | 0.000000    |
| 146) | 0.000000         | 0.000000    |
| 147) | 0.000000         | 0.000000    |
| 148) | 0.000000         | 0.000000    |
| 149) | 0.000000         | 0.000000    |
| 150) | 0.000000         | 0.000000    |
| 151) | 0.000000         | 0.000000    |
| 152) | 0.000000         | 0.000000    |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 153) | 0.000000         | 0.000000    |
| 154) | 0.000000         | 0.000000    |
| 155) | 0.000000         | 0.000000    |
| 156) | 0.000000         | 37.000000   |
| 157) | 0.000000         | 0.000000    |
| 158) | 0.000000         | 0.000000    |
| 159) | 0.000000         | 0.000000    |
| 160) | 0.000000         | 0.000000    |
| 161) | 0.000000         | 0.000000    |
| 162) | 0.000000         | 37.000000   |
| 163) | 0.000000         | 0.000000    |
| 164) | 0.000000         | 0.000000    |
| 165) | 0.000000         | 0.000000    |
| 166) | 0.000000         | 0.000000    |
| 167) | 0.000000         | 0.000000    |
| 168) | 10.000000        | 0.000000    |
| 169) | 10.000000        | 0.000000    |
| 170) | 10.000000        | 0.000000    |
| 171) | 10.000000        | 0.000000    |
| 172) | 10.000000        | 0.000000    |
| 173) | 10.000000        | 0.000000    |
| 174) | 0.000000         | 37.000000   |
| 175) | 0.000000         | 0.000000    |
| 176) | 0.000000         | 0.000000    |
| 177) | 0.000000         | 0.000000    |
| 178) | 0.000000         | 0.000000    |
| 179) | 0.000000         | 0.000000    |
| 180) | 0.000000         | 0.000000    |
| 181) | 0.000000         | 4.000000    |
| 182) | 0.000000         | 5.000000    |
| 183) | 0.000000         | 36.000000   |
| 184) | 0.000000         | 40.000000   |
| 185) | 0.000000         | 44.000000   |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 186) | 0.000000         | 38.000000   |
| 187) | 0.000000         | 42.000000   |
| 188) | 0.000000         | 40.000000   |
| 189) | 0.000000         | 39.000000   |
| 190) | 0.000000         | 42.000000   |
| 191) | 0.000000         | 39.000000   |
| 192) | 0.000000         | 43.000000   |
| 193) | 0.000000         | 39.000000   |
| 194) | 0.000000         | 38.000000   |
| 195) | 0.000000         | 40.000000   |
| 196) | 0.000000         | 41.000000   |
| 197) | 0.000000         | 39.000000   |
| 198) | 0.000000         | -37.000000  |
| 199) | 0.000000         | 0.000000    |
| 200) | 0.000000         | 0.000000    |
| 201) | 0.000000         | 0.000000    |
| 202) | 0.000000         | 0.000000    |
| 203) | 0.000000         | 0.000000    |

NO. ITERATIONS= 74

## APÊNDICE B

Max 37DR1K1 + 41DR1K2 + 42DR1K3 + 36DR2K1 + 40DR2K2 + 44DR2K3 + 38DR3K1  
 + 42DR3K2 + 40DR3K3 + 39DR4K1 + 42DR4K2 + 39DR4K3 + 43DR5K1 + 39DR5K2 +  
 38DR5K3 + 40DR6K1 + 41DR6K2 + 39DR6K3 - 4ED0 - 4ED1 - 4ED2 - 4ED3 - 4ED4 -  
 4ED5 - 4ED6 - 4EC0 - 4EC1 - 4EC2 - 4EC3 - 4EC4 - 4EC5 - 4EC6 - 2EBA0 - 2EBA1 -  
 2EBA2 - 2EBA3 - 2EBA4 - 2EBA5 - 2EBA6 - 2EBB0 - 2EBB1 - 2EBB2 - 2EBB3 - 2EBB4  
 - 2EBB5 - 2EBB6 - 1EAA0 - 1EAA1 - 1EAA2 - 1EAA3 - 1EAA4 - 1EAA5 - 1EAA6 -  
 1EAB0 - 1EAB1 - 1EAB2 - 1EAB3 - 1EAB4 - 1EAB5 - 1EAB6 - 1EAC0 - 1EAC1 - 1EAC2  
 - 1EAC3 - 1EAC4 - 1EAC5 - 1EAC6 - 1EAD0 - 1EAD1 - 1EAD2 - 1EAD3 - 1EAD4 -  
 1EAD5 - 1EAD6

s.t.

!      Parâmetros do Modelo

!      Condições Iniciais

EAA0 = 0

EAA6 = 0

EAB0 = 0

EAB6 = 0

EAC0 = 0

EAC6 = 0

EAD0 = 0

EAD6 = 0

EBA0 = 0

EBA6 = 0

EBB0 = 0

EBB6 = 0

EC0 = 0

EC6 = 0

ED0 = 0

ED6 = 0

! Demandas por período

$$D1K1 = 52$$

$$D1K2 = 48$$

$$D1K3 = 52$$

$$D2K1 = 54$$

$$D2K2 = 59$$

$$D2K3 = 58$$

$$D3K1 = 67$$

$$D3K2 = 69$$

$$D3K3 = 73$$

$$D4K1 = 67$$

$$D4K2 = 67$$

$$D4K3 = 65$$

$$D5K1 = 63$$

$$D5K2 = 65$$

$$D5K3 = 62$$

$$D6K1 = 66$$

$$D6K2 = 63$$

$$D6K3 = 61$$

! Capacidades

! Capacidades do Fornecedor 1 por período

$$FA1 = 800$$

$$FA2 = 800$$

$$FA3 = 800$$

$$FA4 = 800$$

$$FA5 = 800$$

$$FA6 = 800$$



! Capacidades do Fornecedor 2 por período

$$FB1 = 800$$

$$FB2 = 800$$

$$FB3 = 740$$

$$FB4 = 800$$

$$FB5 = 800$$

$$FB6 = 800$$

! Capacidades do Fornecedor 3 por período

$$FC1 = 800$$

$$FC2 = 800$$

$$FC3 = 800$$

$$FC4 = 800$$

$$FC5 = 800$$

$$FC6 = 800$$

! Capacidades do Fornecedor 4 por período

$$FD1 = 800$$

$$FD2 = 800$$

$$FD3 = 800$$

$$FD4 = 800$$

$$FD5 = 800$$

$$FD6 = 800$$

! Capacidades da Fábrica Intermediária 1 por período

$$MA1 = 400$$

$$MA2 = 400$$

$$MA3 = 400$$

$$MA4 = 360$$

$$MA5 = 400$$

$$MA6 = 400$$

! Capacidades da Fábrica Intermediária 2 por período

$$MB1 = 400$$

$$MB2 = 400$$

$$MB3 = 370$$

$$MB4 = 400$$

$$MB5 = 400$$

$$MB6 = 400$$

! Capacidades da Fábrica por período

$$FABR1 = 190$$

$$FABR2 = 190$$

$$FABR3 = 190$$

$$FABR4 = 190$$

$$FABR5 = 190$$

$$FABR6 = 190$$

! Capacidades do Centro de Distribuição por período

$$DIST1 = 200$$

$$DIST2 = 200$$

$$DIST3 = 200$$

$$DIST4 = 200$$

$$DIST5 = 200$$

$$DIST6 = 200$$

! Restrições do Modelo

! Fornecedor 1

$$PAA1 + EAA1 - FA1 \leq 0$$

$$PAA2 + EAA2 - FA2 \leq 0$$

$$PAA3 + EAA3 - FA3 \leq 0$$

$$PAA4 + EAA4 - FA4 \leq 0$$

$$PAA5 + EAA5 - FA5 \leq 0$$

$$PAA6 + EAA6 - FA6 \leq 0$$

!       Fornecedor 2

$$PAB1 + EAB1 - FB1 \leq 0$$

$$PAB2 + EAB2 - FB2 \leq 0$$

$$PAB3 + EAB3 - FB3 \leq 0$$

$$PAB4 + EAB4 - FB4 \leq 0$$

$$PAB5 + EAB5 - FB5 \leq 0$$

$$PAB6 + EAB6 - FB6 \leq 0$$

!       Fornecedor 3

$$PAC1 + EAC1 - FC1 \leq 0$$

$$PAC2 + EAC2 - FC2 \leq 0$$

$$PAC3 + EAC3 - FC3 \leq 0$$

$$PAC4 + EAC4 - FC4 \leq 0$$

$$PAC5 + EAC5 - FC5 \leq 0$$

$$PAC6 + EAC6 - FC6 \leq 0$$

!       Fornecedor 4

$$PAD1 + EAD1 - FD1 \leq 0$$

$$PAD2 + EAD2 - FD2 \leq 0$$

$$PAD3 + EAD3 - FD3 \leq 0$$

$$PAD4 + EAD4 - FD4 \leq 0$$

$$PAD5 + EAD5 - FD5 \leq 0$$

$$PAD6 + EAD6 - FD6 \leq 0$$

!       Fábrica Intermediária 1

$$2PBA1 + 2EBA1 - PAA1 - EAA0 = 0$$

$$2PBA2 + 2EBA2 - PAA2 - EAA1 = 0$$

$$2PBA3 + 2EBA3 - PAA3 - EAA2 = 0$$

$$2PBA4 + 2EBA4 - PAA4 - EAA3 = 0$$

$$2PBA5 + 2EBA5 - PAA5 - EAA4 = 0$$

$$2PBA6 + 2EBA6 - PAA6 - EAA5 = 0$$

$$2PBA1 + 2EBA1 - PAB1 - EAB0 = 0$$

$$2PBA2 + 2EBA2 - PAB2 - EAB1 = 0$$

$$2PBA3 + 2EBA3 - PAB3 - EAB2 = 0$$

$$2PBA4 + 2EBA4 - PAB4 - EAB3 = 0$$

$$2PBA5 + 2EBA5 - PAB5 - EAB4 = 0$$

$$2PBA6 + 2EBA6 - PAB6 - EAB5 = 0$$

$$PBA1 + EBA1 - MA1 \leq 0$$

$$PBA2 + EBA2 - MA2 \leq 0$$

$$PBA3 + EBA3 - MA3 \leq 0$$

$$PBA4 + EBA4 - MA4 \leq 0$$

$$PBA5 + EBA5 - MA5 \leq 0$$

$$PBA6 + EBA6 - MA6 \leq 0$$

! Fábrica Intermediária 2

$$2PBB1 + 2EBB1 - PAC1 - EAC0 = 0$$

$$2PBB2 + 2EBB2 - PAC2 - EAC1 = 0$$

$$2PBB3 + 2EBB3 - PAC3 - EAC2 = 0$$

$$2PBB4 + 2EBB4 - PAC4 - EAC3 = 0$$

$$2PBB5 + 2EBB5 - PAC5 - EAC4 = 0$$

$$2PBB6 + 2EBB6 - PAC6 - EAC5 = 0$$

$$2PBB1 + 2EBB1 - PAD1 - EAD0 = 0$$

$$2PBB2 + 2EBB2 - PAD2 - EAD1 = 0$$

$$2PBB3 + 2EBB3 - PAD3 - EAD2 = 0$$

$$2PBB4 + 2EBB4 - PAD4 - EAD3 = 0$$

$$2PBB5 + 2EBB5 - PAD5 - EAD4 = 0$$

$$2PBB6 + 2EBB6 - PAD6 - EAD5 = 0$$

$$PBB1 + EBB1 - MB1 \leq 0$$

$$PBB2 + EBB2 - MB2 \leq 0$$

$$PBB3 + EBB3 - MB3 \leq 0$$

$$PBB4 + EBB4 - MB4 \leq 0$$

$$PBB5 + EBB5 - MB5 \leq 0$$

$$PBB6 + EBB6 - MB6 \leq 0$$

! Fábrica

$$2PC1 + 2EC1 - PBA1 - EBA0 = 0$$

$$2PC2 + 2EC2 - PBA2 - EBA1 = 0$$

$$2PC3 + 2EC3 - PBA3 - EBA2 = 0$$

$$2PC4 + 2EC4 - PBA4 - EBA3 = 0$$

$$2PC5 + 2EC5 - PBA5 - EBA4 = 0$$

$$2PC6 + 2EC6 - PBA6 - EBA5 = 0$$

$$2PC1 + 2EC1 - PBB1 - EBB0 = 0$$

$$2PC2 + 2EC2 - PBB2 - EBB1 = 0$$

$$2PC3 + 2EC3 - PBB3 - EBB2 = 0$$

$$2PC4 + 2EC4 - PBB4 - EBB3 = 0$$

$$2PC5 + 2EC5 - PBB5 - EBB4 = 0$$

$$2PC6 + 2EC6 - PBB6 - EBB5 = 0$$

$$PC1 + EC1 - FABR1 \leq 0$$

$$PC2 + EC2 - FABR2 \leq 0$$

$$PC3 + EC3 - FABR3 \leq 0$$

$$PC4 + EC4 - FABR4 \leq 0$$

$$PC5 + EC5 - FABR5 \leq 0$$

$$PC6 + EC6 - FABR6 \leq 0$$

! Centro de Distribuição

$$PD1 + ED1 - PC1 - EC0 = 0$$

$$PD2 + ED2 - PC2 - EC1 = 0$$

$$PD3 + ED3 - PC3 - EC2 = 0$$

$$PD4 + ED4 - PC4 - EC3 = 0$$

$$PD5 + ED5 - PC5 - EC4 = 0$$

$$PD6 + ED6 - PC6 - EC5 = 0$$

$$PD1 + ED1 - DIST1 \leq 0$$

$$PD2 + ED2 - DIST2 \leq 0$$

$$PD3 + ED3 - DIST3 \leq 0$$

$$PD4 + ED4 - DIST4 \leq 0$$

$$PD5 + ED5 - DIST5 \leq 0$$

$$PD6 + ED6 - DIST6 \leq 0$$

! Varejo

$$DR1 - PD1 - ED0 = 0$$

$$DR2 - PD2 - ED1 = 0$$

$$DR3 - PD3 - ED2 = 0$$

$$DR4 - PD4 - ED3 = 0$$

$$DR5 - PD5 - ED4 = 0$$

$$DR6 - PD6 - ED5 = 0$$

! Equações de ligação

! Demanda realmente atendida por período e por consumidor

$$DR1K1 - D1K1 \leq 0$$

$$DR1K2 - D1K2 \leq 0$$

$$DR1K3 - D1K3 \leq 0$$

$$DR2K1 - D2K1 \leq 0$$

$$DR2K2 - D2K2 \leq 0$$

$$DR2K3 - D2K3 \leq 0$$

$$DR3K1 - D3K1 \leq 0$$

$$DR3K2 - D3K2 \leq 0$$

$$DR3K3 - D3K3 \leq 0$$

$$DR4K1 - D4K1 \leq 0$$

$$DR4K2 - D4K2 \leq 0$$

$$DR4K3 - D4K3 \leq 0$$

$$DR5K1 - D5K1 \leq 0$$

$$DR5K2 - D5K2 \leq 0$$

$$DR5K3 - D5K3 \leq 0$$

$$DR6K1 - D6K1 \leq 0$$

$$DR6K2 - D6K2 \leq 0$$

$$DR6K3 - D6K3 \leq 0$$

! Demanda realmente atendida por período

DR1 - DR1K1 - DR1K2 - DR1K3 = 0

DR2 - DR2K1 - DR2K2 - DR2K3 = 0

DR3 - DR3K1 - DR3K2 - DR3K3 = 0

DR4 - DR4K1 - DR4K2 - DR4K3 = 0

DR5 - DR5K1 - DR5K2 - DR5K3 = 0

DR6 - DR6K1 - DR6K2 - DR6K3 = 0

END

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 13

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 44156.00

| VARIABLE | VALUE     | REDUCED COST |
|----------|-----------|--------------|
| DR1K1    | 52.000000 | 0.000000     |
| DR1K2    | 48.000000 | 0.000000     |
| DR1K3    | 52.000000 | 0.000000     |
| DR2K1    | 54.000000 | 0.000000     |
| DR2K2    | 59.000000 | 0.000000     |
| DR2K3    | 58.000000 | 0.000000     |
| DR3K1    | 67.000000 | 0.000000     |
| DR3K2    | 69.000000 | 0.000000     |
| DR3K3    | 73.000000 | 0.000000     |
| DR4K1    | 67.000000 | 0.000000     |
| DR4K2    | 67.000000 | 0.000000     |
| DR4K3    | 65.000000 | 0.000000     |
| DR5K1    | 63.000000 | 0.000000     |
| DR5K2    | 65.000000 | 0.000000     |
| DR5K3    | 62.000000 | 0.000000     |
| DR6K1    | 66.000000 | 0.000000     |
| DR6K2    | 63.000000 | 0.000000     |
| DR6K3    | 61.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE     | REDUCED COST |
|----------|-----------|--------------|
| ED0      | 0.000000  | 0.000000     |
| ED1      | 14.000000 | 0.000000     |
| ED2      | 33.000000 | 0.000000     |
| ED3      | 9.000000  | 0.000000     |
| ED4      | 0.000000  | 0.000000     |
| ED5      | 0.000000  | 20.000000    |
| ED6      | 0.000000  | 4.000000     |
| EC0      | 0.000000  | 0.000000     |
| EC1      | 0.000000  | 0.000000     |
| EC2      | 0.000000  | 0.000000     |
| EC3      | 0.000000  | 0.000000     |
| EC4      | 0.000000  | 0.000000     |
| EC5      | 0.000000  | 20.000000    |
| EC6      | 0.000000  | 4.000000     |
| EBA0     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBA1     | 0.000000  | 0.000000     |
| EBA2     | 0.000000  | 0.000000     |
| EBA3     | 20.000000 | 0.000000     |
| EBA4     | 0.000000  | 8.000000     |
| EBA5     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBA6     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBB0     | 0.000000  | 0.000000     |
| EBB1     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBB2     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBB3     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBB4     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBB5     | 0.000000  | 2.000000     |
| EBB6     | 0.000000  | 2.000000     |
| EAA0     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAA1     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAA2     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAA3     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAA4     | 0.000000  | 1.000000     |



| VARIABLE | VALUE     | REDUCED COST |
|----------|-----------|--------------|
| EAA5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAA6     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB0     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB1     | 0.000000  | 0.000000     |
| EAB2     | 40.000000 | 0.000000     |
| EAB3     | 0.000000  | 3.000000     |
| EAB4     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAB6     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC0     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC1     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC2     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC3     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC4     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAC6     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD0     | 0.000000  | 0.000000     |
| EAD1     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD2     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD3     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD4     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD5     | 0.000000  | 1.000000     |
| EAD6     | 0.000000  | 1.000000     |
| D1K1     | 52.000000 | 0.000000     |
| D1K2     | 48.000000 | 0.000000     |
| D1K3     | 52.000000 | 0.000000     |
| D2K1     | 54.000000 | 0.000000     |
| D2K2     | 59.000000 | 0.000000     |
| D2K3     | 58.000000 | 0.000000     |
| D3K1     | 67.000000 | 0.000000     |
| D3K2     | 69.000000 | 0.000000     |
| D3K3     | 73.000000 | 0.000000     |
| D4K1     | 67.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| D4K2     | 67.000000  | 0.000000     |
| D4K3     | 65.000000  | 0.000000     |
| D5K1     | 63.000000  | 0.000000     |
| D5K2     | 65.000000  | 0.000000     |
| D5K3     | 62.000000  | 0.000000     |
| D6K1     | 66.000000  | 0.000000     |
| D6K2     | 63.000000  | 0.000000     |
| D6K3     | 61.000000  | 0.000000     |
| FA1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FA6      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB3      | 740.000000 | 0.000000     |
| FB4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FB6      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FC6      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD1      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD2      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD3      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD4      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD5      | 800.000000 | 0.000000     |
| FD6      | 800.000000 | 0.000000     |
| MA1      | 400.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| MA2      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA3      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA4      | 360.000000 | 0.000000     |
| MA5      | 400.000000 | 0.000000     |
| MA6      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB1      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB2      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB3      | 370.000000 | 0.000000     |
| MB4      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB5      | 400.000000 | 0.000000     |
| MB6      | 400.000000 | 0.000000     |
| FABR1    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR2    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR3    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR4    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR5    | 190.000000 | 0.000000     |
| FABR6    | 190.000000 | 0.000000     |
| DIST1    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST2    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST3    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST4    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST5    | 200.000000 | 0.000000     |
| DIST6    | 200.000000 | 0.000000     |
| PAA1     | 664.000000 | 0.000000     |
| PAA2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA3     | 780.000000 | 0.000000     |
| PAA4     | 720.000000 | 0.000000     |
| PAA5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAA6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB1     | 664.000000 | 0.000000     |
| PAB2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB3     | 740.000000 | 0.000000     |
| PAB4     | 720.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| PAB5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAB6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC1     | 664.000000 | 0.000000     |
| PAC2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC3     | 740.000000 | 0.000000     |
| PAC4     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAC6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD1     | 664.000000 | 0.000000     |
| PAD2     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD3     | 740.000000 | 0.000000     |
| PAD4     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD5     | 760.000000 | 0.000000     |
| PAD6     | 760.000000 | 0.000000     |
| PBA1     | 332.000000 | 0.000000     |
| PBA2     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA3     | 370.000000 | 0.000000     |
| PBA4     | 360.000000 | 0.000000     |
| PBA5     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBA6     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB1     | 332.000000 | 0.000000     |
| PBB2     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB3     | 370.000000 | 0.000000     |
| PBB4     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB5     | 380.000000 | 0.000000     |
| PBB6     | 380.000000 | 0.000000     |
| PC1      | 166.000000 | 0.000000     |
| PC2      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC3      | 185.000000 | 0.000000     |
| PC4      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC5      | 190.000000 | 0.000000     |
| PC6      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD1      | 152.000000 | 0.000000     |

| VARIABLE | VALUE      | REDUCED COST |
|----------|------------|--------------|
| PD2      | 157.000000 | 0.000000     |
| PD3      | 176.000000 | 0.000000     |
| PD4      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD5      | 190.000000 | 0.000000     |
| PD6      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR1      | 152.000000 | 0.000000     |
| DR2      | 171.000000 | 0.000000     |
| DR3      | 209.000000 | 0.000000     |
| DR4      | 199.000000 | 0.000000     |
| DR5      | 190.000000 | 0.000000     |
| DR6      | 190.000000 | 0.000000     |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
| 2)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 3)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 4)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 5)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 6)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 7)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 8)  | 0.000000         | -1.000000   |
| 9)  | 0.000000         | 0.000000    |
| 10) | 0.000000         | 0.000000    |
| 11) | 0.000000         | 0.000000    |
| 12) | 0.000000         | -2.000000   |
| 13) | 0.000000         | 0.000000    |
| 14) | 0.000000         | -4.000000   |
| 15) | 0.000000         | 0.000000    |
| 16) | 0.000000         | -4.000000   |
| 17) | 0.000000         | 0.000000    |
| 18) | 0.000000         | 37.000000   |
| 19) | 0.000000         | 41.000000   |
| 20) | 0.000000         | 42.000000   |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
| 21) | 0.000000         | 32.000000   |
| 22) | 0.000000         | 36.000000   |
| 23) | 0.000000         | 40.000000   |
| 24) | 0.000000         | 30.000000   |
| 25) | 0.000000         | 34.000000   |
| 26) | 0.000000         | 32.000000   |
| 27) | 0.000000         | 27.000000   |
| 28) | 0.000000         | 30.000000   |
| 29) | 0.000000         | 27.000000   |
| 30) | 0.000000         | 27.000000   |
| 31) | 0.000000         | 23.000000   |
| 32) | 0.000000         | 22.000000   |
| 33) | 0.000000         | 40.000000   |
| 34) | 0.000000         | 41.000000   |
| 35) | 0.000000         | 39.000000   |
| 36) | 0.000000         | 0.000000    |
| 37) | 0.000000         | 0.000000    |
| 38) | 0.000000         | 0.000000    |
| 39) | 0.000000         | 0.000000    |
| 40) | 0.000000         | 0.000000    |
| 41) | 0.000000         | 0.000000    |
| 42) | 0.000000         | 0.000000    |
| 43) | 0.000000         | 1.000000    |
| 44) | 0.000000         | 2.000000    |
| 45) | 0.000000         | 0.000000    |
| 46) | 0.000000         | 0.000000    |
| 47) | 0.000000         | 0.000000    |
| 48) | 0.000000         | 0.000000    |
| 49) | 0.000000         | 0.000000    |
| 50) | 0.000000         | 0.000000    |
| 51) | 0.000000         | 0.000000    |
| 52) | 0.000000         | 0.000000    |
| 53) | 0.000000         | 0.000000    |

| ROW | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|-----|------------------|-------------|
| 54) | 0.000000         | 0.000000    |
| 55) | 0.000000         | 0.000000    |
| 56) | 0.000000         | 0.000000    |
| 57) | 0.000000         | 0.000000    |
| 58) | 0.000000         | 0.000000    |
| 59) | 0.000000         | 0.000000    |
| 60) | 0.000000         | 0.000000    |
| 61) | 0.000000         | 0.000000    |
| 62) | 0.000000         | 0.000000    |
| 63) | 0.000000         | 6.000000    |
| 64) | 0.000000         | 0.000000    |
| 65) | 0.000000         | 0.000000    |
| 66) | 0.000000         | 0.000000    |
| 67) | 0.000000         | 0.000000    |
| 68) | 0.000000         | 0.000000    |
| 69) | 0.000000         | 0.000000    |
| 70) | 0.000000         | 0.000000    |
| 71) | 0.000000         | 0.000000    |
| 72) | 0.000000         | 0.000000    |
| 73) | 0.000000         | 0.000000    |
| 74) | 0.000000         | 0.000000    |
| 75) | 0.000000         | 0.000000    |
| 76) | 0.000000         | 16.000000   |
| 77) | 0.000000         | 0.000000    |
| 78) | 0.000000         | 0.000000    |
| 79) | 0.000000         | 0.000000    |
| 80) | 0.000000         | 0.000000    |
| 81) | 0.000000         | 0.000000    |
| 82) | 0.000000         | 0.000000    |
| 83) | 0.000000         | 0.000000    |
| 84) | 136.000000       | 0.000000    |
| 85) | 40.000000        | 0.000000    |
| 86) | 20.000000        | 0.000000    |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 87)  | 80.000000        | 0.000000    |
| 88)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 89)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 90)  | 136.000000       | 0.000000    |
| 91)  | 0.000000         | 1.000000    |
| 92)  | 0.000000         | 2.000000    |
| 93)  | 80.000000        | 0.000000    |
| 94)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 95)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 96)  | 136.000000       | 0.000000    |
| 97)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 98)  | 60.000000        | 0.000000    |
| 99)  | 40.000000        | 0.000000    |
| 100) | 40.000000        | 0.000000    |
| 101) | 40.000000        | 0.000000    |
| 102) | 136.000000       | 0.000000    |
| 103) | 40.000000        | 0.000000    |
| 104) | 60.000000        | 0.000000    |
| 105) | 40.000000        | 0.000000    |
| 106) | 40.000000        | 0.000000    |
| 107) | 40.000000        | 0.000000    |
| 108) | 0.000000         | 0.000000    |
| 109) | 0.000000         | 0.000000    |
| 110) | 0.000000         | 0.000000    |
| 111) | 0.000000         | 0.000000    |
| 112) | 0.000000         | 0.000000    |
| 113) | 0.000000         | 0.000000    |
| 114) | 0.000000         | 0.000000    |
| 115) | 0.000000         | 1.000000    |
| 116) | 0.000000         | 2.000000    |
| 117) | 0.000000         | 0.000000    |
| 118) | 0.000000         | 0.000000    |
| 119) | 0.000000         | 0.000000    |



| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 120) | 68.000000        | 0.000000    |
| 121) | 20.000000        | 0.000000    |
| 122) | 10.000000        | 0.000000    |
| 123) | 0.000000         | 6.000000    |
| 124) | 20.000000        | 0.000000    |
| 125) | 20.000000        | 0.000000    |
| 126) | 0.000000         | 0.000000    |
| 127) | 0.000000         | 0.000000    |
| 128) | 0.000000         | 0.000000    |
| 129) | 0.000000         | 0.000000    |
| 130) | 0.000000         | 0.000000    |
| 131) | 0.000000         | 0.000000    |
| 132) | 0.000000         | 0.000000    |
| 133) | 0.000000         | 0.000000    |
| 134) | 0.000000         | 0.000000    |
| 135) | 0.000000         | 0.000000    |
| 136) | 0.000000         | 0.000000    |
| 137) | 0.000000         | 0.000000    |
| 138) | 68.000000        | 0.000000    |
| 139) | 20.000000        | 0.000000    |
| 140) | 0.000000         | 0.000000    |
| 141) | 20.000000        | 0.000000    |
| 142) | 20.000000        | 0.000000    |
| 143) | 20.000000        | 0.000000    |
| 144) | 0.000000         | 0.000000    |
| 145) | 0.000000         | 2.000000    |
| 146) | 0.000000         | 4.000000    |
| 147) | 0.000000         | 6.000000    |
| 148) | 0.000000         | 0.000000    |
| 149) | 0.000000         | 0.000000    |
| 150) | 0.000000         | 0.000000    |
| 151) | 0.000000         | 0.000000    |
| 152) | 0.000000         | 0.000000    |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 153) | 0.000000         | 0.000000    |
| 154) | 0.000000         | 0.000000    |
| 155) | 0.000000         | 0.000000    |
| 156) | 24.000000        | 0.000000    |
| 157) | 0.000000         | 0.000000    |
| 158) | 5.000000         | 0.000000    |
| 159) | 0.000000         | 0.000000    |
| 160) | 0.000000         | 16.000000   |
| 161) | 0.000000         | 0.000000    |
| 162) | 0.000000         | 0.000000    |
| 163) | 0.000000         | 4.000000    |
| 164) | 0.000000         | 8.000000    |
| 165) | 0.000000         | 12.000000   |
| 166) | 0.000000         | 16.000000   |
| 167) | 0.000000         | 0.000000    |
| 168) | 34.000000        | 0.000000    |
| 169) | 10.000000        | 0.000000    |
| 170) | 15.000000        | 0.000000    |
| 171) | 10.000000        | 0.000000    |
| 172) | 10.000000        | 0.000000    |
| 173) | 10.000000        | 0.000000    |
| 174) | 0.000000         | 0.000000    |
| 175) | 0.000000         | 4.000000    |
| 176) | 0.000000         | 8.000000    |
| 177) | 0.000000         | 12.000000   |
| 178) | 0.000000         | 16.000000   |
| 179) | 0.000000         | 0.000000    |
| 180) | 0.000000         | 37.000000   |
| 181) | 0.000000         | 41.000000   |
| 182) | 0.000000         | 42.000000   |
| 183) | 0.000000         | 32.000000   |
| 184) | 0.000000         | 36.000000   |
| 185) | 0.000000         | 40.000000   |

| ROW  | SLACK OR SURPLUS | DUAL PRICES |
|------|------------------|-------------|
| 186) | 0.000000         | 30.000000   |
| 187) | 0.000000         | 34.000000   |
| 188) | 0.000000         | 32.000000   |
| 189) | 0.000000         | 27.000000   |
| 190) | 0.000000         | 30.000000   |
| 191) | 0.000000         | 27.000000   |
| 192) | 0.000000         | 27.000000   |
| 193) | 0.000000         | 23.000000   |
| 194) | 0.000000         | 22.000000   |
| 195) | 0.000000         | 40.000000   |
| 196) | 0.000000         | 41.000000   |
| 197) | 0.000000         | 39.000000   |
| 198) | 0.000000         | 0.000000    |
| 199) | 0.000000         | -4.000000   |
| 200) | 0.000000         | -8.000000   |
| 201) | 0.000000         | -12.000000  |
| 202) | 0.000000         | -16.000000  |
| 203) | 0.000000         | 0.000000    |

NO. ITERATIONS= 13