

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA DE ANÁLISE PARA A LOCALIZAÇÃO DE
DEPÓSITOS**

Renata Albergaria de Mello Bandeira

Porto Alegre, 2006

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA DE ANÁLISE PARA A
LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS**

Renata Albergaria de Mello Bandeira

Orientador: Prof. Luis Antonio Lindau, Ph.D.

Banca Examinadora:

Francisco José Kliemann Neto, Dr.

PPGEP / UFRGS

Gláucia Michel de Oliva, Dra.

DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA / UFRGS

Patrícia Costa Duarte, Dra.

ESCOLA SUPERIOR DE NEGÓCIOS / FSG

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção como requisito parcial à obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Área de concentração: Transportes e Logística

Porto Alegre, 2006

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

Prof. Luis Antonio Lindau, Ph.D.

PPGEP / UFRGS

Orientador

Prof. Luis Antonio Lindau, Ph.D.

Coordenador PPGEP / UFRGS

Banca Examinadora:

Francisco José Kliemann Neto, Dr.

PPGEP / UFRGS

Gláucia Michel de Oliva, Dra.

DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA / UFRGS

Patrícia Costa Duarte, Dra.

ESCOLA SUPERIOR DE NEGÓCIOS / FSG

“Sê escravo do saber se queres ser
verdadeiramente livre.”

Sêneca

Agradecimentos

Aos Professores Luiz Antonio Lindau e Francisco José Kliemann Neto pela valiosa orientação;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pela dedicação e pelo conhecimento transmitido;

Às professoras da Banca, Patrícia Costa Duarte e Gláucia Michel de Oliva, pela colaboração;

À secretária Ingrid, pela sua boa vontade e ajuda despendida durante o curso de mestrado;

Aos meus colegas de turma pelo companheirismo;

Ao Sr. Luis Kaminski e a Srta. Adriana Antunes, que me disponibilizaram as informações da cadeia de suprimentos analisada, sem as quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho;

Aos meus chefes Sr Marco Antônio Vanni e Cristina Fleig Mayer pelo apoio, sem o qual não teria sido possível a conclusão deste curso;

Aos meus amigos e familiares, por todo incentivo e amizade oferecida.

Aos meus pais e irmão, que mesmo longe, sempre estiveram presentes, me apoiando e acreditando em mim;

Ao meu marido, Adriano, quem esteve ao meu lado durante estes dois anos, me estimulando e incentivando. Obrigada por sua compreensão e carinho.

RESUMO

Este trabalho trata de um problema de modelagem de redes de distribuição, que consiste em determinar a quantidade e a localização de centros de distribuição, bem como o estabelecimento da capacidade nominal, alocação de clientes e de fornecedores e determinação de quais famílias de produtos devem ser estocadas em cada depósito, de forma a minimizar a soma dos custos de armazenagem e de transporte. É exposta uma sistemática de análise para a localização de depósitos, onde são listadas as principais etapas a serem seguidas. Ainda, são apresentados dois modelos estratégicos, baseados em técnicas matemáticas distintas, que são aplicados à localização de multi-depósitos em uma cadeia com multi-produtos. São propostos um algoritmo de otimização, baseado em programação linear inteira-mista, e um modelo de localização no plano aplicado a múltiplas instalações, capazes de analisar toda a cadeia logística. Ilustra-se a aplicação destes modelos através do estudo de um caso prático em uma empresa de suprimentos industriais. Por fim, as soluções propostas pelos modelos são avaliadas através de análise de sensibilidade. Estes resultados são analisados de modo a estabelecer conclusões em relação à eficiência, precisão, praticidade e aplicabilidade dos modelos propostos.

Palavras-chave: Logística, Cadeias de Suprimento, Problema de Localização, Centros de Distribuição.

ABSTRACT

This work deals with the problem of modeling a distribution network that comprises selecting the quantity and location of warehouses, as well as determining their capacities and setting the transportation flow between facilities, either from plants to warehouse or warehouse to retailer, as to minimize the total inventory and transportation costs. It introduces a methodological framework that presents the main stages to be followed in location analysis. Two strategic models, based on distinct mathematical techniques are proposed as tools to optimize the configuration of the logistics network in a multi-product and multi-warehouse chain. The paper also proposes an optimization algorithm based on mixed-integer linear programming and a model for plan location applied to multi-plans capable of analyzing the whole logistics chain. These algorithms are then applied to a real logistics network of an industrial supplier company. Finally, the solutions proposed by the models are assessed through sensitivity analysis. The results are evaluated in order to make assumptions related to the efficiency, precision and applicability of each model.

Key words: Logistics, Supply Chain, Location Problem, Distribution Center.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	A integração logística	25
Figura 2	Fluxos logísticos	26
Figura 3	Atividades de uma cadeia de suprimentos	36
Figura 4	Interfaces da Logística com o Marketing e a Produção	39
Figura 5	Planejamento Logístico	39
Figura 6	Relação entre o tempo de resposta desejado e o número de depósitos	45
Figura 7	Estoque médio em função do número de depósitos	49
Figura 8	Relação entre o custo de estoque e o número de depósitos	49
Figura 9	Relação entre o custo de transporte e o número de depósitos	50
Figura 10	Relação entre o custo de instalações e o número de depósitos	51
Figura 11	Relação entre o custo logístico total e número de depósitos necessários	52
Figura 12	Fluxograma para Simulação de Localização de depósitos	72
Figura 13	Principais Etapas no Processo de Localização de Depósitos	81
Figura 14	Gráfico Capacidade x Custo Fixo de Operação do Depósito	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Variáveis do Modelo de Otimização	86
Tabela 2	Variáveis do Modelo de Otimização	92
Tabela 3	Vendas por departamentos.....	100
Tabela 4	Famílias de Produtos do Departamento de Máquinas e Motores	101
Tabela 5	Localização dos Fornecedores do Departamento de Máquinas e Motores	102
Tabela 6	Localização e Capacidade dos Depósitos Existentes	103
Tabela 7	Porcentagem da Capacidade de Armazenagem Total para cada Departamento .	105
Tabela 8	Custos médios de frete para os produtos do Departamento de Máquinas e Motores	107
Tabela 9	Custos Fixos dos Depósitos Existentes	109
Tabela 10	Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos.....	114
Tabela 11	Potenciais Pontos e Localização dos Depósitos (Dados de Entrada)	115
Tabela 12	Relação entre o Custo Logístico Total e o Volume Demandado	116
Tabela 13	Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para Demanda Variável	116
Tabela 14	Relação entre o Custo Logístico Total e o Custo Fixo de Operação de Depósitos	117
Tabela 15	Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo Fixo de Operação de Depósitos Variáveis	118
Tabela 16	Relação entre o Custo Logístico Total e o Custo de Transferência.....	119
Tabela 17	Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo de Transferência Variável	119
Tabela 18	Relação entre o Custo Logístico Total e o Custo de Distribuição.....	120
Tabela 19	Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo de Distribuição Reduzido	120
Tabela 20	Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo de Distribuição Acrescido	121
Tabela 21	Resumo dos Resultados encontrados pelo Modelo de Otimização	122
Tabela 22	Resumo dos Resultados encontrados pelo Modelo de Localização no Plano	122

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS	15
1.4	MÉTODO	16
1.4.1	Método de Pesquisa	16
1.4.2	Método de Trabalho	17
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2	CONTEXTO TEÓRICO	20
2.1	CONCEITUAÇÃO DE LOGÍSTICA	20
2.1.1	A Evolução da Logística	21
2.1.2	Definição da Logística	23
2.1.3	Objetivos da Logística e sua Participação na Economia	27
2.2	OS DIFERENTES SEGMENTOS DA LOGÍSTICA	28
2.2.1	Logística de Suprimentos	29
2.2.2	Logística de Apoio à Manufatura	30
2.2.3	Logística de Distribuição	31
2.2.3.1	<i>Cadeia de Suprimentos</i>	32
2.2.3.2	<i>Canais de Distribuição</i>	33
2.3	PLANEJAMENTO LOGÍSTICO	35
2.3.1	Atividades-chave do Planejamento Logístico	36
2.3.2	Atividades de Suporte do Planejamento Logístico	37
2.3.3	Operacionalização do Planejamento Logístico	38
3	TEORIA DA LOCALIZAÇÃO	42
3.1	DECISÕES SOBRE INSTALAÇÕES EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS	42
3.2	ESTRATÉGIA DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS	45
3.3	CUSTOS NA ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS	48
3.4	DADOS NECESSÁRIOS PARA A ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS	53
3.4.1	Processo de Agregação de Dados	53
3.4.2	Coleta de Dados	55
3.5	TÉCNICAS DE ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS	56
3.5.1	Técnicas de Solução para os Problemas de Localização no Plano	57
3.5.1.1	<i>Modelos de Localização no Plano Aplicados a uma Única Instalação-Modelos Gravitacionais</i>	57
3.5.1.2	<i>Modelo de Localização no Plano Aplicado a Múltiplas Instalações</i>	60
3.5.2	Técnicas de Solução para Modelos de Localização Discreta	62
3.5.2.1	<i>Técnicas Matemáticas de Otimização</i>	62
3.5.2.2	<i>Heurísticas</i>	68

3.5.2.3	<i>Técnicas de Simulação</i>	70
3.5.2.4	<i>Comparação entre as Diferentes Técnicas de Solução para Modelos de Localização Discreta</i>	73
3.5.3	Críticas aos Modelos de Localização de Depósitos	74
3.5.4	Aplicações Comerciais	75
3.6	PROCESSO DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS.....	76
4	SISTEMÁTICA PARA A LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS.....	77
4.1	PRINCIPAIS ETAPAS NO PROCESSO DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS....	77
4.2	DISCUSSÃO SOBRE A ESCOLHA DA TÉCNICA DE SOLUÇÃO	82
4.2.1	MODELO DE OTIMIZAÇÃO	84
4.2.1.1	<i>Especificação do Modelo</i>	85
4.2.1.2	<i>Função Objetivo</i>	86
4.2.1.3	<i>Restrições</i>	87
4.2.1.4	<i>Implementação Computacional</i>	88
4.2.2	MODELO DE LOCALIZAÇÃO NO PLANO APLICADO A MÚLTIPLAS INSTALAÇÕES E MÚLTIPLAS <i>COMMODITIES</i>	88
4.2.2.1	<i>Especificação do Modelo</i>	91
4.2.2.2	<i>Restrições</i>	93
4.2.2.3	<i>Implementação Computacional</i>	94
5	UMA APLICAÇÃO AO SETOR DE SUPRIMENTOS INDUSTRIAIS	96
5.1	FASE DE PREPARAÇÃO.....	96
5.1.1	Identificação do Problema	96
5.1.2	Definição da Equipe Envolvida no Projeto	99
5.2	FASE DE PLANEJAMENTO	99
5.2.1	Produtos	100
5.2.2	Localização e Capacidade dos Fornecedores	102
5.2.3	Localização e Capacidade dos Depósitos Existentes e Potenciais	103
5.2.4	Localização e Demanda dos Pontos de Consumo	103
5.2.5	Coordenadas Espaciais	105
5.2.6	Meios de Transporte e Custos Associados	106
5.2.7	Custos Fixos e Variáveis de Instalação e Operação dos Depósitos.....	108
5.3	FASE DE ANÁLISE INICIAL	110
5.4	FASE DE IMPLEMENTAÇÃO	111
6	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	112
6.1	ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS	112
6.2	SOLUÇÃO DO CASO BASE.....	114
6.3	VOLUME DEMANDADO PELAS ZONAS DE CONSUMO	115
6.4	CUSTO FIXO DE OPERAÇÃO DOS DEPÓSITOS	117
6.5	CUSTO DE TRANSFERÊNCIA	118
6.6	CUSTO DE DISTRIBUIÇÃO	119
6.7	RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS	121
7	CONCLUSÃO.....	123
7.1	COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS UTILIZADAS	124
7.2	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS	125

REFERÊNCIAS	127
APÊNDICE I - LISTAGEM DO PROGRAMA DE LOCALIZAÇÃO NO PLANO	133
APÊNDICE II - ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO	147

1 INTRODUÇÃO

Esse capítulo é constituído pela introdução do trabalho. Nessa seção, faz-se a contextualização do tema pesquisado, apresentando sua problemática. São estabelecidos, ainda, os objetivos geral e específicos da pesquisa, sua justificativa e a metodologia utilizada. Aborda-se, enfim, a estrutura do trabalho.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA

A economia mundial está sofrendo grandes transformações devido à globalização. Para sobreviver à nova ordem econômica, as empresas precisam adaptar-se à atual realidade, na qual o sucesso de uma organização individual está relacionado com sua habilidade em competir, desempenhando diferentes papéis nas cadeias de suprimentos dinâmicas. Assim, o gerenciamento da cadeia de suprimentos tornou-se uma iniciativa estratégica para as organizações que pretendem aumentar seu potencial competitivo (Ching, 1999). Por isto, empresas líderes americanas, como a Motorola, Proctor & Gamble e a Quaker Oats, estão integrando a cadeia logística de forma agressiva. Nos últimos anos, observa-se no Brasil uma crescente discussão sobre projetos de gerenciamento da cadeia de suprimentos.

O desempenho das atividades de suprimentos e de distribuição depende da otimização da rede logística, que é alcançada através da análise estratégica da localização das instalações. Uma vez definida a quantidade e o posicionamento das instalações em uma rede logística, toda a operação de transporte e distribuição dos produtos estará condicionada a esta configuração. Desta forma, as decisões sobre instalações influenciam o desempenho e eficiência da cadeia de suprimentos, a rentabilidade da empresa e definem a estrutura física do sistema logístico.

Muitas pesquisas acadêmicas têm sido desenvolvidas para a otimização do processo logístico da cadeia de suprimentos, com o objetivo de alcançar a performance desejada por meio da minimização de custos e do atendimento dos níveis de serviço desejados (Sabri e Beamon, 2000). No entanto, este é um processo complexo que enfrenta uma série de desafios. Devido à complexidade e aos altos custos envolvidos nas operações logísticas, é crescente o

interesse da Academia e das organizações por este tema. A implementação de melhores técnicas logísticas tem demonstrado ser uma das mais desafiadoras e interessantes áreas operacionais da administração pública e privada.

O principal problema associado ao desempenho da cadeia se refere ao *trade off* entre os níveis de serviços e o custo logístico total (Ludwig, 2002). Dentre o conjunto de decisões que influenciam a configuração e o desempenho da cadeia de suprimentos, a localização de depósitos ocupa uma posição relevante, uma vez que limita os custos e os níveis de serviços a serem alcançados e envolve altos investimentos. A estratégia da localização de instalações é uma das responsabilidades básicas da gerência de logística, sendo que, entre as decisões de localização, aquelas referentes aos depósitos são as mais freqüentes (Bowersox e Closs, 2001). Neste trabalho, pretende-se abordar as principais decisões envolvidas na estratégia da localização de depósitos, tais como:

- a) Determinação do número adequado de depósitos;
- b) Escolha da localização de cada depósito;
- c) Determinação do tamanho e estrutura requerida para cada depósito;
- d) Estabelecimento da capacidade nominal de cada depósito;
- e) Alocação dos clientes e fábricas a cada um dos diferentes depósitos.

Estas decisões são influenciadas por fatores macroeconômicos, políticos, estratégicos, tecnológicos, competitivos, logísticos, operacionais e de infra-estrutura (Chopra e Meindl, 2003). Devido à variabilidade destes fatores ao longo do tempo, a estratégia da localização de instalações deve ser constantemente revisada de forma a adaptá-la às mudanças na oferta e demanda de produtos.

1.2 OBJETIVOS

Serão apresentados, a seguir, os objetivos geral e específicos deste estudo.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é propor uma sistemática de análise para o problema da localização de depósitos, e ilustrar sua aplicação através do estudo de um caso prático.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Identificar uma fundamentação teórica para entender os principais fatores que influenciam a estratégia da localização de instalações, tendo como foco principal a localização de depósito;
- Entender, através da literatura, os modelos e técnicas matemáticas existentes de estratégia de localização de depósitos;
- Identificar, com base na literatura, as etapas e processos a serem seguidos no desenvolvimento de um estudo de localização de depósitos;
- Realizar uma comparação entre os principais modelos e técnicas para a localização de depósitos, encontradas na literatura, e identificar suas principais vantagens e restrições para os diferentes tipos de problemas existentes no processo de localização de depósitos;
- Desenvolver dois modelos estratégicos para a localização de depósitos na cadeia de suprimentos, baseados em técnicas matemáticas distintas;
- Aplicar estes modelos para a localização de depósitos na cadeia logística de uma empresa de suprimentos industriais, validando tais modelos através de dados fornecidos por uma empresa do setor;
- Analisar os resultados obtidos para os diferentes modelos, de modo a estabelecer conclusões em relação à sua eficiência, precisão, praticidade e aplicabilidade.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

Estudos na área de logística têm sido frequentes pois, devido à intensa competitividade, esta área tem se destacado como uma ferramenta estratégica importante para a diferenciação e otimização dos processos empresariais. Segundo Korpela *et al.* (1999), a pesquisa em logística tem apresentado muitas publicações de otimização, graças ao poder das ferramentas matemáticas e ao maior interesse dos tomadores de decisão em utilizar os resultados de modelos matemáticos.

Para Ludwig (2002), a competição entre as firmas individuais está sendo substituída pela competição entre as cadeias de suprimentos. Desta forma, muitas pesquisas acadêmicas têm sido desenvolvidas para a otimização do processo logístico da cadeia de suprimentos. A otimização da cadeia de suprimentos é um processo complexo que enfrenta uma série de desafios. Dentre o conjunto de decisões que definem a estrutura do sistema logístico e influenciam o desempenho da cadeia, a localização de depósitos ocupa uma posição relevante, uma vez que limita os custos e os níveis de serviços a serem alcançados. Assim, é crescente o interesse da Academia e das organizações por estudos que abordem a implementação de estratégias referentes à localização de depósitos na cadeia de suprimentos.

Devido aos avanços na área de produção, as empresas conseguiram reduzir ao máximo seus custos de produção (Ballou, 2001). Assim, a redução dos custos logísticos, através da otimização da cadeia de suprimentos, tornou-se o passo principal para aumentar os lucros e o *market share* (Simchi-Levi *et al.*, 2000). Através de uma detalhada análise de sua estratégia de distribuição, a empresa norte-americana *National Semiconductor* decidiu fechar seis de seus depósitos localizados em diferentes países e substituí-los por um único centro de distribuição em Cingapura, a partir do qual seus produtos (*microchips*) seriam transportados pelo modal aéreo. Com isto, a empresa reduziu seus custos de distribuição em 2,5%, diminuiu seu tempo de entrega em 47% e ampliou suas vendas em 34%, em um intervalo de dois anos (Simchi-Levi *et al.*, 2000). Em um projeto semelhante, a LPC, fabricante de produtos Danone, reestruturou seu processo de distribuição, fechando depósitos e racionalizando rotas de armazenamento e de entregas, de modo que conseguiu dobrar o volume comercializado, reduzir o custo com o transporte e o tempo médio de viagem e descarga no cliente (Ching, 1999).

A estratégia da localização de instalações é uma das responsabilidades básicas da gerência de logística. Desta forma, espera-se, com este trabalho, fornecer uma ferramenta que auxilie os gerentes de logística a solucionar a seguinte questão, proposta por Simchi-Levi *et al.* (2000): “Como a gerência deve selecionar a localização de depósitos e suas capacidades, determinar o nível de produção em cada planta, esquematizar o fluxo de transporte entre as diferentes instalações, de modo que os custos logísticos sejam minimizados e os níveis de serviço atendidos?” Para isto, serão analisadas as técnicas matemáticas, encontradas na literatura, e apresentados dois modelos de decisão para o problema da localização de depósitos, que serão aplicados para um estudo de caso. Os resultados destes modelos serão então comparados, de modo que se possa concluir sobre a eficiência, precisão e aplicabilidade de cada ferramenta.

1.4 MÉTODO

Apresenta-se nesta seção tanto o método de pesquisa utilizado como a seqüência de trabalho realizada.

1.4.1 Método de Pesquisa

Segundo Cervo e Bervian (1996), a pesquisa é uma atividade voltada para a solução de problemas, através do emprego de processos científicos. Os autores classificam a pesquisa, quanto à sua natureza, em dois grandes grupos: (i) pesquisas puras; e (ii) pesquisas aplicadas. Na primeira, o pesquisador tem como meta o saber, buscando satisfazer uma necessidade intelectual pelo conhecimento, enquanto na pesquisa aplicada o investigador é movido pela necessidade de contribuir para fins práticos, buscando soluções para problemas concretos. Outra classificação apresentada por Cervo e Bervian (1996) refere-se ao procedimento geral utilizado. Segundo este critério, a pesquisa pode ser: bibliográfica, descritiva ou experimental. Alguns autores como Santos (2000) e Silva e Menezes (2001) afirmam que esta classificação é, na realidade, em relação ao objetivo da pesquisa. Para estes autores, a pesquisa pode ser exploratória, descritiva e explicativa.

De acordo com Cervo e Bervian, (1996), uma pesquisa bibliográfica procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas, podendo ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental. Para estes autores,

a pesquisa descritiva observa, registra, analisa e correlaciona fatos ou fenômenos, sem manipulá-los. Por sua vez, a pesquisa experimental caracteriza-se por manipular diretamente as variáveis relacionadas com o objeto de estudo. Enquanto a pesquisa descritiva procura classificar, explicar e interpretar os fenômenos que ocorrem, a pesquisa experimental pretende atribuir causas aos fenômenos (Cervo e Bervian, 1996). Segundo Santos (2000), uma pesquisa de caráter exploratório é aquela realizada com base em levantamentos e entrevistas.

Com base na classificação de Cervo e Bervian (1996) quanto à natureza da pesquisa, este trabalho é uma pesquisa aplicada, pois pretende, além de buscar a atualização de conhecimento, transformar em ação concreta os resultados obtidos. Em relação aos seus objetivos, este estudo pode ser caracterizado como exploratório, apresentando ainda uma parte bibliográfica.

Gil (1991), Roesch (1999) e Silva e Menezes (2001) classificam uma pesquisa segundo sua natureza (básica e aplicada), sua abordagem (quantitativa ou qualitativa) e seus objetivos (exploratória, descritiva ou experimental). Santos (2000) ainda classifica uma pesquisa de acordo com os procedimentos de coleta e com as fontes utilizadas na coleta de dados. As formas mais comuns de se coletar informações são (i) experimento, (ii) levantamento, (iii) estudo de caso, (iv) pesquisa bibliográfica, (v) pesquisa documental, e (vi) pesquisa-ação. Em relação às fontes utilizadas na coleta de dados, a pesquisa pode ser: (i) de campo, (ii) de laboratório ou (iii) bibliográfica.

Esse trabalho é de natureza aplicada, uma vez que é proposta uma metodologia para a localização de depósitos em uma cadeia logística. A abordagem da pesquisa pode ser classificada como quantitativa, porém, segundo seus objetivos, trata-se de um estudo exploratório. Em relação às fontes utilizadas na coleta de dados, esta é uma pesquisa de campo e bibliográfica; quanto ao procedimento de coleta, este trabalho pode ser classificado como estudo de caso.

1.4.2 Método de Trabalho

A seqüência de passos seguida para a execução deste trabalho é apresentada a seguir:

- Escolha do assunto e sua delimitação;

- Delineamento da problemática, justificativa da escolha e elaboração do Projeto de Dissertação;
- Pesquisa e revisão da literatura acerca dos assuntos pertinentes;
- Comparação entre os principais modelos e técnicas para a localização de depósitos, encontradas na literatura;
- Desenvolvimento de duas ferramentas, baseadas em técnicas distintas, para a solução de problemas de localização de depósitos em cadeias logísticas;
- Aplicação das diferentes ferramentas para o mesmo estudo de caso;
- Validação dos modelos através de dados fornecidos pela empresa analisada;
- Conclusão do trabalho.

Desenvolveu-se este trabalho em quatro estágios. O primeiro estágio refere-se à revisão bibliográfica. A princípio, são abordados os conceitos básicos de logística, de modo a salientar a relevância do tema. Em seguida, foca-se na teoria da localização, sendo levantados materiais já publicados para fundamentar o trabalho. O segundo estágio é alusivo às ferramentas matemáticas utilizadas na análise estratégica da localização de depósitos. São identificadas e analisadas, então, as principais técnicas, abordando suas vantagens e restrições referentes aos diferentes tipos de problema de localização.

A fase de construção de dois modelos estratégicos para a localização de depósitos corresponde ao terceiro estágio da pesquisa. Enfim, aplicam-se estes modelos a um estudo de caso, de modo a realizar a análise crítica dos resultados obtidos, verificar sua validação e realizar uma comparação em relação à eficiência e precisão as práticas adotadas.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. No capítulo introdutório, faz-se a contextualização do sistema logístico e apresenta-se a problemática do assunto a ser analisado. Expõem-se os diversos problemas envolvidos na análise de localização e a relevância do tema escolhido. Mostram-se, ainda, as razões de se realizar um estudo sobre a

estratégia da localização de depósito, sendo listadas as justificativas da pesquisa. Abordam-se os objetivos do estudo, delimitando-se quais pontos se pretende pesquisar. Termina-se o capítulo com a exposição do método e da estrutura do trabalho.

O capítulo 2 trata da revisão teórica que, baseada nas informações coletadas na bibliografia e na Internet, aborda os conceitos básicos de logística, mostrando a relevância do tema. O capítulo 3 também se fundamenta na bibliografia para analisar as principais decisões sobre instalações em uma cadeia de suprimentos, sendo abordadas, com maior detalhamento, aquelas que definem a estratégia de localização de depósitos. São abordadas, ainda, as principais ferramentas matemáticas de análise do problema da localização, sendo identificadas quais deverão ser utilizadas para os diferentes tipos de problemas de localização de depósitos.

No capítulo 4, expõe-se uma sistemática de análise para o problema da localização de depósitos. Em seguida, são propostos dois modelos, baseados em técnicas matemáticas distintas, para a localização de depósitos em cadeias logísticas. Descreve-se cada modelo, suas variáveis de entrada, restrições consideradas e as soluções oferecidas, além de casos reais em que estas técnicas tenham sido utilizadas.

No capítulo 5 ilustra-se a aplicação dos modelos de localização através de um estudo de caso real. Descreve-se a cadeia de distribuição analisada e apresenta-se o processo de coleta e agregação de dados. O capítulo 6 é constituído pela análise dos resultados obtidos e a validação dos modelos. Enfim, o capítulo 7 é composto pelas conclusões deste trabalho, pelas suas limitações e pelas sugestões para futuras pesquisas.

2 CONTEXTO TEÓRICO

Este capítulo fundamenta-se na bibliografia existente para abordar os conceitos básicos de logística e mostrar a relevância do tema. Após a apresentação de uma visão geral da logística, desenvolve-se um retrospecto sucinto de sua evolução e apresenta-se sua definição e conceituação. Em seguida, são abordados os objetivos da logística e sua participação na economia. São apresentadas, então, as três áreas da logística, sendo dada maior ênfase à Logística de Distribuição. Essa área é abordada com maior detalhamento, sendo descritas e analisadas a cadeia de suprimentos e os canais de distribuição. Enfim, apresenta-se o planejamento logístico, que é essencial para a eficiência do gerenciamento logístico. O projeto de rede e o problema da localização de depósitos são tópicos do planejamento logístico. Esta seção é de extrema importância porque muitas das questões que serão discutidas neste trabalho, referentes ao problema de localização de depósitos, farão referências aos conceitos aqui discutidos.

2.1 CONCEITUAÇÃO DE LOGÍSTICA

A locomoção de pessoas e de carga é quase tão antiga quanto à humanidade. Através do serviço de transportes, diferentes bens podem ser distribuídos e ofertados em diferentes mercados. Assim, com o avanço do sistema logístico, o consumo e a produção começaram a separar-se geograficamente, de forma que as regiões se especializaram nas mercadorias que poderiam produzir com mais eficiência. O excesso de produção seria então transportado para outras áreas consumidoras, enquanto os demais produtos necessários seriam importados (Ballou, 2001). Trata-se do princípio da vantagem comparativa, na qual cada economia se especializa na atividade que tem uma maior vantagem de custo. De fato, os mercados são freqüentemente internacionais, enquanto a produção tende a ser concentrada em poucos pontos. As atividades logísticas fornecem, então, “a ponte entre o local de produção e os mercados em que estão separados pelo tempo e pela distância” (Ballou, 2001).

A importância da logística não se limita apenas ao aspecto físico de fazer os produtos chegarem aos mercados, sendo fundamental o aspecto econômico de transportá-los com o menor custo possível, de acordo com as necessidades dos clientes e sem que a sua qualidade seja alterada (Morlok, 1978). “Os produtos e serviços não têm valor a menos que estejam sob a

posse do cliente quando (tempo) e onde (lugar) eles desejam consumi-los (Ballou, 2001)”. Desta forma, a missão da logística é “dispor a mercadoria ou serviço certo, no lugar certo, no tempo certo e nas condições desejadas, à medida que fornece a maior contribuição à empresa”, agregando assim valor, em termos de tempo e lugar, para os clientes, fornecedores e acionistas da empresa (Ballou, 2001). A atividade logística é responsável por agregar o valor de tempo, de qualidade e de informação à cadeia produtiva. A FedEx (*Federal Express*), por exemplo, agregou o valor de informação ao permitir que o cliente rastreie sua encomenda pela Internet, a qualquer momento (Novaes, 2004). Segundo Novaes (2004), a logística moderna procura eliminar do processo tudo que não tenha valor para o cliente, ou seja, tudo que acarrete apenas em custos e perda de tempo.

2.1.1 A Evolução da Logística

Atividades de movimentação e armazenagem são desempenhadas há muitos anos, porém é recente o conceito de gerenciamento coordenado da logística, sendo seus benefícios abordados pela primeira vez em livro editado no ano de 1961¹ (Ballou,2001). Antes da década de 50, as empresas executavam as atividades logísticas de forma funcional, não existindo nenhum conceito ou teoria sobre a logística integrada (Bowersox e Closs, 2001).

Antes do desenvolvimento deste campo de estudo como ferramenta para a administração de empresas, os militares já estavam organizados para executar atividades logísticas de maneira coordenada. Segundo Christopher (1997), ao longo da história da humanidade, as guerras têm sido ganhas e perdidas através do poder e da capacidade logística – ou devido à falta deles. Alguns autores citam a invasão da Europa durante a 2ª. Guerra Mundial como a operação logística mais complexa e mais bem planejada da história (Ballou, 2001). A experiência militar foi uma base valiosa para o desenvolvimento da logística empresarial.

Segundo Bowersox e Closs (2001), a inicial falta de atenção dada à logística pode ser explicada por três fatores principais. Primeiro, antes da difusão de computadores e das

¹ Edward W. Smykay, Donald J. Bowersox, and Frank H. Mossman, *Physical Distribution Management: Logistics Problems of the Firm* (New York: Macmillan, 1961).

técnicas quantitativas, não havia teorias que sustentassem que a integração de funções logísticas pudesse aprimorar o desempenho total. Ainda, a pressão econômica e a busca por maiores lucros forçaram as empresas a buscarem novas alternativas para a redução de custos. Um terceiro obstáculo à adoção da logística integrada foi a dificuldade de estimar o retorno financeiro obtido a partir dos investimentos neste setor.

Foi no período entre 1980 e 1995 que houve o maior desenvolvimento do conceito de logística integrada. “As mudanças importantes na infra-estrutura regulatória, a disponibilidade de recursos computacionais de baixo custo, a revolução da tecnologia da informação, a ampla difusão do movimento em prol da qualidade e a aceitação universal das alianças contribuíram, em conjunto, para a criação de uma visão inovadora em quase todos os aspectos da logística (Bowersox e Closs, 2001).”

Segundo Novaes (2004), o processo de evolução da Logística pode ser dividido em quatro fases. A Logística moderna originou-se na Segunda Guerra Mundial. Nessa primeira fase, o estoque era um elemento-chave para o balanceamento da cadeia de suprimentos e as empresas buscavam formar lotes econômicos para transportar seus produtos, de forma que se buscava reduzir os custos logísticos através do uso de modais de menor custo ou do emprego de veículos de maior capacidade, sendo dada menor importância aos custos de estoques (Novaes, 2004).

A segunda fase da logística ocorreu no início dos anos 70. Nesta época houve uma grande abertura no leque de produtos, maior diferenciação nas cores, tipos e tamanhos oferecidos aos consumidores. Isto ocasionou um aumento acentuado nos estoques ao longo da cadeia produtiva, de modo que se tornou essencial a maior racionalização da cadeia de suprimentos, visando menores custos e maior eficiência (Novaes, 2004). Devido à introdução da informática na operação das empresas, na década de 1960, foi possível racionalizar o processo de planejamento das operações empresariais. Contudo, este planejamento não era flexível. De acordo com Novaes (2004), essa segunda fase da logística busca a racionalização integrada da cadeia de suprimentos, mas esta ainda é rígida, já que não permite a correção dinâmica do planejamento ao longo do tempo.

Na terceira fase da logística, que começou no final da década de 1980, o desenvolvimento da informática possibilitou uma integração dinâmica e flexível entre os agentes da cadeia de suprimentos dentro da empresa e nas suas relações com seus

fornecedores e clientes (Novaes, 2004). A introdução do sistema de intercâmbio eletrônico de dados (EDI) flexibilizou o processo de planejamento e programação da produção, possibilitando ajustes frequentes. Ainda nesta fase, nota-se maior preocupação com a satisfação plena do cliente (Novaes, 2004).

Para Novaes (2004), foi na quarta fase da logística que os agentes da cadeia de suprimentos passaram a trabalhar mais próximos, trocando informações, antes consideradas confidenciais e formando parcerias. Desta forma, a logística passou a ser considerada “um elemento diferenciador, de cunho estratégico, na busca de maiores fatias do mercado (Novaes, 2004)”. Segundo o mesmo autor, nas demais fases da logística, cada elemento da cadeia de suprimentos tinha um papel bem delineado, porém, na quarta fase, esta separação já não é mais nítida, havendo uma interpenetração de operações entre elementos da cadeia. As empresas de classe mundial passaram, então, a formar parcerias com seus fornecedores e clientes, abrindo suas fronteiras, antes muito protegidas. Nota-se a aplicação de esforços de forma sistemática e continuada a fim de agregar o máximo de valor para o consumidor final e eliminar os desperdícios, reduzindo assim os custos e aumentando a eficiência da cadeia logística.

2.1.2 Definição da Logística

De acordo com o Conselho de Administração de Logística (CLM- *Council of Logistics Management*), “logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e economicamente eficaz de matérias-primas, estoque em processo, produtos acabados e informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender às exigências de clientes”. Segundo Kobayshi (2000), a logística é “o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de peças, materiais e produtos acabados (e os fluxos de informações correlatas) através da organização e seus canais de marketing, de modo a maximizar a lucratividade presente e futura através de pedidos a baixo custo”. O foco da logística não está restrito a movimentação física de mercadorias, sendo que seus conceitos também podem ser aplicados a empresas de serviços. Por exemplo, um hospital que decida estender os serviços de emergência médica a toda comunidade deverá tomar decisões relativas à localização dos centros médicos (Ballou, 2001).

A logística empresarial é um campo de estudos relativamente novo da gestão integrada em comparação com os campos tradicionais de finanças, marketing e produção. É uma tradição das empresas a organização em torno das funções de marketing e de produção (Ballou, 2001). Ainda hoje se pode observar o poder que o setor de manufatura desfruta em muitas indústrias (Novaes, 2004). No entanto, o papel da logística é fundamental para a diferenciação da empresa no mercado. O desempenho logístico usa a capacitação de entrega de seus produtos para dar apoio às necessidades de marketing e de produção (Bowersox e Closs, 2001). Ainda, o desempenho logístico influencia diretamente a satisfação do cliente, de modo que um pequeno erro nas operações logísticas, como um atraso não justificável ou uma falta de cortesia por parte do motorista que faz a entrega, pode desestruturar a relação de confiança e parceria entre a empresa e seus clientes, depondo contra os esforços de venda e de marketing da empresa (Novaes, 2004).

Atualmente as empresas visam ter agilidade e eficácia em seus processos logísticos com intuito de alcançar vantagens em custo/produzitividade e em valor (Christopher, 1997). Segundo Bradley (1998), os desafios da logística relacionam-se à entrega de melhores produtos, a custos mais baixos, com maior velocidade, e em mercados de alcance global. As forças do ambiente de negócios que influenciam o desenvolvimento da Logística são: consumidores cada vez mais exigentes, redução dos ciclos de vida dos produtos, utilização cada vez mais intensiva de processos *just in time*, globalização e proliferação de itens substitutos. Para que tais obstáculos sejam ultrapassados, uma gestão eficaz da cadeia de suprimentos deve focar na redução dos tempos envolvidos em dois componentes consecutivos: o fluxo da informação do pedido do cliente e o fluxo físico de materiais e de produtos (Mason-Jones & Towill, 1998).

A logística é responsável pela integração das empresas com seus clientes e fornecedores, conforme ilustrado na figura 1. Para Bowersox e Closs (2001), “as informações recebidas de clientes fluem pela empresa na forma de atividades de vendas, provisões e pedidos. As informações são filtradas em planos específicos de compras e produção. No momento do suprimento de produtos e materiais, é iniciado um fluxo de bens de valor agregado que resulta, por fim, na transferência de propriedade de produtos acabados aos clientes.” Desta forma, o processo logístico é composto por dois fluxos: o fluxo de materiais e o de informações.

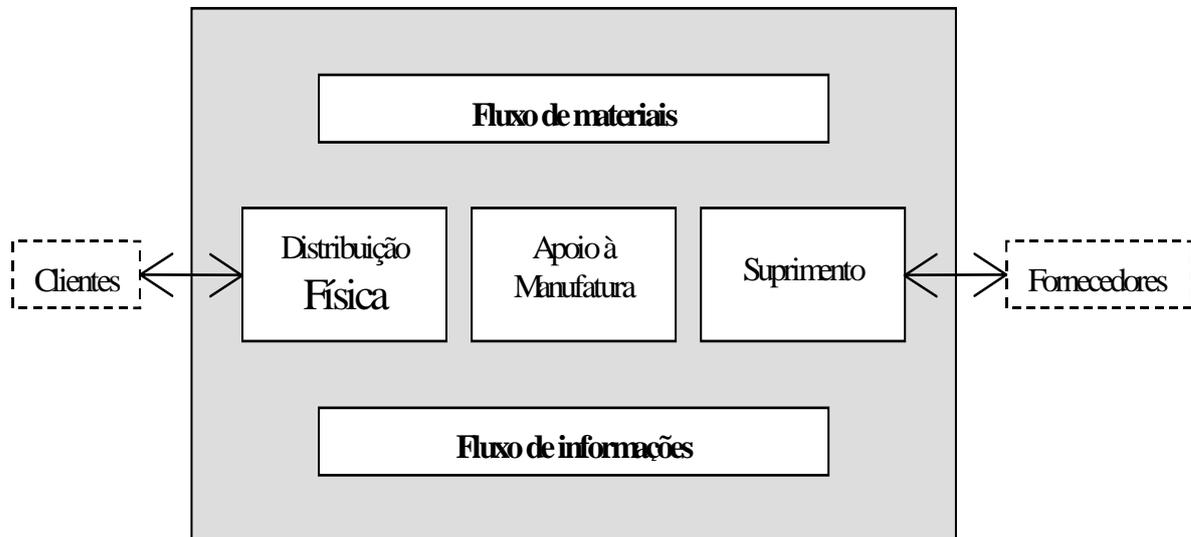


Figura 1 A integração logística

Fonte: adaptada de Bowersox (2001 p. 41)

A logística deve ser considerada como o elemento que segue a cadeia de valor com todos os seus subsistemas (suprimentos, produção e distribuição), sendo que estes devem estar integrados por um sistema de informações único. A movimentação e a armazenagem de materiais e produtos acabados são as atividades básicas do fluxo de materiais, que se inicia com a expedição de materiais ou componentes de um fornecedor e termina quando o produto processado é entregue ao cliente final. Por sua vez, o fluxo de informações é responsável pela flexibilidade e dinamismo do sistema logístico, de forma que a disponibilidade de informações de boa qualidade em tempo hábil é um fator-chave para as operações logísticas (Bowersox e Closs, 2001).

Para Novaes (2004), são três os fluxos básicos que sustentam a cadeia logística. Além do fluxo de materiais (insumos e produtos) e de informações (fator de sustentação da gestão da cadeia logística), há também o fluxo financeiro, que ocorre no sentido oposto ao fluxo de materiais, ou seja, este vai do consumidor para o fornecedor, conforme pode ser observado na figura 2. Para o autor, o fluxo de informações ocorre nos dois sentidos, trazendo informações sobre a evolução do fluxo de materiais e conduzindo informação sobre o consumidor final do produto (demanda, preferências, mudanças de hábitos de compras, mudança no perfil socioeconômico). Desta forma, logística é uma forma de gestão ampla, que

envolve a empresa como um todo. Portanto, os gestores podem utilizar os seus conceitos para alcançar vantagem competitiva sustentável.



Figura 2 Fluxos logísticos

Fonte: adaptado de Novaes (2004 p. 37)

Segundo Bowersox e Closs (2001), o serviço logístico básico é medido em termos de: disponibilidade, desempenho operacional e confiabilidade de serviço. Entende-se por disponibilidade a capacidade de estoque para atender às necessidades de materiais ou produtos do cliente. Contudo, uma maior disponibilidade implica em maiores custos. Por sua vez, o desempenho operacional correlaciona-se com o tempo decorrido desde o recebimento de um pedido até a entrega da mercadoria, envolvendo velocidade e consistência de entrega. A confiabilidade de serviço envolve os atributos de qualidade da logística, através da mensuração da disponibilidade e do desempenho operacional.

Ainda deve-se salientar que, com a moderna prática do *SCM- Supply Chain Management* (Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos), o processo logístico parte do consumidor final e caminha para trás, até os fornecedores. De acordo com Novaes (2001), esta é uma visão radicalmente nova, uma vez que o consumidor passa a comandar o processo. Segundo o autor, dentro dos modernos conceitos do SCM, a logística é considerada um forte conteúdo estratégico, ou seja, “não se trata mais de um centro de custo que as empresas são obrigadas a manter para que seus produtos cheguem ao consumidor final.” Esta nova visão é pró-ativa e busca aproveitar ao máximo as operações logísticas para ganhar maior competitividade no mercado.

2.1.3 Objetivos da Logística e sua Participação na Economia

A logística moderna procura incorporar: “(i) prazos previamente acertados e cumpridos integralmente ao longo de toda a cadeia; (ii) integração efetiva e sistêmica entre todos os setores da empresa; (iii) integração efetiva e estreita com fornecedores e clientes; (iv) busca da otimização global, envolvendo racionalização dos processos e a redução de custos em toda a cadeia de suprimentos, e (v) a satisfação plena do cliente, mantendo o nível de serviço preestabelecido e adequado (Novaes, 2004).” Segundo a SOLE (*Society of Logistics Engineers*), os objetivos da logística podem ser abordadas nos “8R” : (i) *Right material* - materiais necessários; (ii) *right quantity* - na quantidade necessária; (iii) *right quality* - de justa qualidade; (iv) *right place* - no lugar certo; (v) *right time* - no tempo certo; (vi) *right method* - com o melhor método; (vii) *right cost* - segundo o custo justo, e (viii) *right impression* - com uma boa impressão (Kobayashi, 2000).

A missão da logística é ajudar a criar valor para o cliente pelo menor custo total possível. Uma empresa de alta competência logística destaca-se por superar a concorrência em todos os aspectos das operações de forma a ganhar vantagem competitiva, proporcionando aos clientes um serviço superior (Bowersox e Closs, 2001). Assim, empresas logisticamente sofisticadas passam a ser vistas como fornecedores preferenciais e parceiros ideais. Contudo, a criação de valor logístico envolve um alto custo. De acordo com Bowersox e Closs (2001), o custo anual para executar as operações logísticas, nos Estados Unidos, foi de aproximadamente 10% do produto nacional bruto (PNB) de 1994. Segundo o Fundo Monetário Internacional (FMI), o custo de logística representa em média 12% do produto interno bruto mundial. Para as empresas, os custos logísticos têm variado entre 4% e 30% do valor das vendas (Ballou, 2001), dependendo do tipo de atividade, da área geográfica e da relação peso/valor dos produtos e materiais (Bowersox e Closs, 2001). Os custos logísticos representam, então, uma das maiores parcelas do custo final do produto.

De fato, os avanços na área de produção, através do desenvolvimento de estratégias como o *kanban*, o *just-in-time* e a qualidade total, fizeram com que as empresas reduzissem seus custos de produção ao máximo. Assim, a redução dos custos logísticos, através da otimização da cadeia de suprimentos, tornou-se o passo principal para aumentar os lucros e o *market share* (Simchi-Levi *et al.*, 2000). Segundo especialistas, a indústria alimentícia pode

reduzir em 10% seu custo operacional anual através da adoção de estratégias mais efetivas para o gerenciamento da cadeia suprimentos (Henkoff, 1994).

Poucas áreas de operações envolvem a complexidade ou abrangem o escopo geográfico característico da logística (Bowersox e Closs, 2001). O grau de complexidade e os custos logísticos são ainda maiores em operações globalizadas, uma vez que englobam mais desafios, tais como: transportes internacionais, diversidade cultural, habilidade lingüística e operações com cadeias de suprimentos mais amplas (Bowersox e Closs, 2001). Segundo Stock e Lambert (1987), a base do gerenciamento integrado da Logística é a análise do custo total, definido como a soma do custo total de transporte, armazenagem, estoque, custo do lote e processamento das ordens e sistemas de informação, ao mesmo tempo em que se presta um serviço ao cliente no nível desejado. Enfim, os gerentes devem minimizar os custos, ou maximizar os lucros, de uma maneira abrangente e eficaz.

2.2 OS DIFERENTES SEGMENTOS DA LOGÍSTICA

Para melhor compreensão das operações logísticas, costuma-se dividi-la em três segmentos que recebem várias denominações, dependendo do autor:

- Logística de Suprimentos (também chamado de Logística de Materiais, Logística de Abastecimento, Logística de Entrada, *Inbound*). Este segmento aborda as relações com fornecedores, compras, estoques e armazenamento de materiais;
- Logística Interna (também denominado de Logística de Produção, Logística de Planta). Aborda o processo de transformação dentro da empresa, desde a entrada da matéria-prima e insumos até a saída sob forma de serviço ou produto acabado; e
- Logística de Distribuição (também conhecida como Logística de Saída, Logística Externa, *Outbound*). Esta é fase da distribuição dos produtos acabados, seu transporte e armazenagem bem como o relacionamento com o cliente após a venda.

Segundo Bowersox e Closs (2001), nas empresas comuns, as três áreas da logística se sobrepõem. A combinação destas propicia o gerenciamento integrado da movimentação de materiais e produtos entre as instalações, a partir de fontes de suprimentos para o atendimento

dos clientes finais. Como as questões logísticas são estratégicas para as empresas, estas devem ser tratadas com atenção por parte dos gestores. Com base nos objetivos das organizações, as decisões logísticas devem propiciar vantagem competitiva frente aos concorrentes. Em suma, a logística apresenta um grande potencial gerencial a ser explorado.

Um outro ponto que tem recebido grande atenção por parte das empresas é o serviço ao cliente e pós-venda, visto que a preocupação do fabricante não termina quando o produto chega ao destinatário final, mas com sua utilização, assistência técnica e possíveis descartes. Estes descartes podem dar início a uma outra cadeia produtiva, o que se denomina de logística reversa. A seguir serão abordados os diferentes tipos de logística.

2.2.1 Logística de Suprimentos

Os suprimentos abrangem a aquisição e movimentação de entrada de materiais, de peças e produtos acabados dos fornecedores, para fábricas, depósitos ou lojas de varejo (Bowersox e Closs, 2001). A logística de suprimentos engloba as operações de entrada no recebimento de materiais, nas operações de separação e de montagem. Apesar de ser uma parte importante da Logística devido a sua grande importância econômica e por seu cunho estratégico, a logística de suprimentos é considerada, por muitas organizações, mais simples ou de menor importância que os problemas de distribuição física para clientes (Ching, 1999). Não se deve subestimar, entretanto, a importância estratégica de suprimentos e seu potencial na economia. Os custos de fornecimento representam aproximadamente 30% do total de custos de toda a cadeia logística (Ching, 1999).

No segmento de suprimentos, houve uma importante mudança de paradigmas, destacando-se a redução do número de fornecedores e a implementação de programas de desenvolvimento de fornecedores, já que, em muitos casos, é mais conveniente, eficaz e menos dispendioso investir em um fornecedor já conhecido do que buscar um novo (Ballou, 2001). Assim, o desenvolvimento de parcerias e o compartilhamento de informações e projetos foram favorecidos. De acordo com Ching (1999), torna-se comum, na logística de suprimentos, o alinhamento dos planos estratégicos de fornecedores e empresas. Segundo o autor, a integração com fornecedores gera diversos benefícios, tais como: *(i)* parceiros mais fortes; *(ii)* foco comum na qualidade; *(iii)* confiabilidade de entregas; *(iv)* baixos níveis de

estoque; (v) menos burocracia; (vi) melhor controle do processo; (vii) congruência de objetivos; e (viii) custos da cadeia logística reduzidos.

A aquisição de produtos também está passando por uma transformação. A área de suprimentos tem deixado de comprar de forma reativa, passando a fazê-lo de maneira pró-ativa (Chopra e Meindl, 2003). Um outro aspecto que tem sido fortemente buscado pela nova área de compras é a redução do número de itens comprados, diminuindo então a quantidade e o espaço físico de estoque, reduzindo custos. O novo objetivo da função compras é agregar valor ao produto final, participando ativamente da etapa inicial de sua concepção (Chopra e Meindl, 2003). Desta forma, a área de compras assume um papel estratégico na empresa e o processamento de pedidos torna-se mais simplificado e integrado às reais necessidades de abastecimento (Ching, 1999).

2.2.2 Logística de Apoio à Manufatura

A logística de apoio à manufatura concentra-se no gerenciamento de estoque em processo à medida que este flui entre as fases de fabricação (Bowersox e Closs, 2001). O segmento da logística interna (manufatura) foi o primeiro a sofrer mudanças em seus processos organizacionais, tendo como premissa principal à redução do tempo de atravessamento (*lead time*), desde a entrada dos insumos na linha de operação até sua transformação em produto/serviço acabado (Ballou, 2001). Contudo, a segregação das atividades de apoio à manufatura como uma área distinta da logística é um conceito relativamente novo.

Segundo Bowersox e Closs (2001), a missão da Logística de Manufatura é dar apoio a todas as necessidades da produção, porém esta não influencia como a produção será realizada. É indispensável a programação eficiente das atividades de apoio à manufatura, uma vez que as constantes mudanças no mercado exigem que os processos de produção sejam flexíveis e confiáveis, com altos níveis de qualidade (Ching, 1999). As atividades de apoio à manufatura limitam-se exclusivamente à empresa, enquanto as demais áreas da logística englobam os relacionamentos entre a empresa e seus clientes e fornecedores. No entanto, quando uma empresa possui diversas fábricas, a complexidade do apoio à produção pode exceder aquela da distribuição física ou de suprimentos (Bowersox e Closs, 2001).

2.2.3 Logística de Distribuição

Desde o instante em que a produção é finalizada até o momento de sua compra, as mercadorias são responsabilidade da logística de distribuição (Ballou, 1993). Este é o segmento da cadeia logística que se responsabiliza pela colocação dos produtos acabados à disposição do cliente. Representa um de seus pontos mais importantes, tanto sob a ótica de custos, quanto pela proximidade com o consumidor final.

O objetivo geral da logística de distribuição é levar os produtos certos, para lugares certos, no momento certo, com o nível de serviço desejado, pelo menor custo possível (Novaes, 2004). Segundo Lacerda (2000), uma questão básica para o gerenciamento logístico reside na estruturação de um sistema de distribuição capaz de atender ao cliente com eficácia e com um alto nível de serviço. A logística de distribuição é composta por três segmentos principais, que são a armazenagem, o transporte e a distribuição propriamente dita. A armazenagem é uma das fases mais tradicionais da logística e tem passado por profundas transformações nos últimos anos, exigindo uma nova abordagem gerencial, a qual passa pela adoção de sistemas informatizados aplicados ao gerenciamento da armazenagem, pela utilização de sistemas automatizados de movimentação e separação de produtos e pela sua função principal – estocagem de produtos (Bowersox e Closs, 2001).

Segundo Simchi-Levi *et al.* (2000) a etapa de armazenagem pode ser suprimida caso ocorra a distribuição direta, onde os itens são enviados diretamente do fornecedor ao varejo, sem passar por centros de distribuição. Ainda, deve-se ressaltar que, além dos depósitos tradicionais, a armazenagem também pode ocorrer em *cross-docking*. Trata-se de uma estratégia que se tornou famosa devido à rede Wal-Mart. Neste sistema, os armazéns são considerados centros de distribuição e de coordenação, ao invés de depósitos, de modo que os itens não devem ser mantidos em estoque por mais de doze horas.

O marketing moderno considera a distribuição como uma das fases críticas dos negócios, pois dela dependem, em grande parte, a qualidade percebida pelo cliente. Além de ter papel fundamental nas atividades relacionadas ao serviço ao cliente, o transporte é geralmente o elemento mais importante dos custos logísticos para a maioria das empresas. Este chega a absorver entre um e dois terços do total dos custos logísticos (Ballou, 2001). Suas principais funções estão ligadas às dimensões de tempo e utilidade de lugar. Mesmo que

a tecnologia atual permita a troca de informações *on line*, o transporte continua sendo fundamental para o alcance do objetivo logístico.

De acordo com Novaes (2004), das três principais partes da logística, a logística de distribuição é a mais importante, por seu cunho estratégico e pela importância econômica associada a ela pelos governantes e pelas empresas quando instalam novas unidades industriais. Ainda, na logística de distribuição tem despontado a figura dos operadores logísticos, que são os responsáveis por realizar a distribuição dos produtos da firma contratante a seus clientes. Desta forma, os operadores logísticos devem satisfazer dois clientes simultaneamente, ou seja, quem os contrata e os clientes destes (Novaes, 2004). Permitindo que as empresas possam focar melhor seu *core-business*, os operadores logísticos também atuam no segmento de suprimentos e de operação.

Coughlan *et al.* (2002) definem o canal de marketing ou de distribuição como “o conjunto de organizações interdependentes envolvidas no processo de disponibilizar um produto ou um serviço para uso ou consumo”. Os mesmos autores afirmam que a logística envolve o processamento e o rastreamento de materiais/produtos durante o processo de armazenamento, controle de estoque, transporte, documentação e entrega ao cliente, tendo o conceito de logística de distribuição passado a ser uma função importante em algumas empresas que vislumbraram as possibilidades de ganhos através de um eficiente e eficaz gerenciamento da logística. Segundo Alvarenga e Novaes (2000), para que estes ganhos sejam alcançados é fundamental a correta representação e análise da cadeia de suprimentos e de seus canais de distribuição. Estas questões são abordadas a seguir.

2.2.3.1 Cadeia de Suprimentos

Segundo Chopra e Meindl (2003), uma cadeia de suprimentos engloba todos os estágios envolvidos, direta ou indiretamente, no atendimento de um pedido de um cliente. De acordo com os autores, o termo cadeia de suprimentos representa os produtos ou suprimentos que se deslocam ao longo da seguinte cadeia: fornecedores, fabricantes, distribuidores, lojistas e clientes. Uma cadeia de suprimentos é constituída por canais de distribuição que, segundo Stern *et al.* (1996), “são conjuntos de organizações interdependentes envolvidas no processo de tornar o produto ou serviço disponível para uso ou consumo.” Na montagem de uma cadeia de suprimentos, uma das questões estratégicas é a melhor combinação de canais para colocar

um produto no mercado da forma mais competitiva possível. Para melhorar o desempenho da cadeia de suprimentos, pode ser utilizado mais de um canal de distribuição, o que ocorre em função da diversidade de tipos de consumidor (Novaes, 2004). Os arranjos de canal são dinâmicos, uma vez que as empresas procuram constantemente aprimorar seu posicionamento seletivo. Uma melhor estrutura de canal pode resultar em vantagem competitiva real (Bowersox e Closs, 2001). Contudo, mudar um canal de distribuição é complexo e envolve muito tempo, pois há uma gama de empresas envolvidas nos bastidores das operações (Novaes, 2004).

2.2.3.2 Canais de Distribuição

O canal de distribuição, também conhecido como canal de marketing, é o meio através do qual “um sistema de livre mercado realiza a transferência de propriedade de produtos e serviços” (Bowersox e Closs, 2001). A *American Marketing Association* define um canal de distribuição como “a estrutura de unidades organizacionais dentro da empresa, e agentes e firmas comerciais fora dela, atacadistas, varejistas, por meio dos quais uma mercadoria, um produto ou um serviço é comercializado” (Bayer, 1990 apud Novaes, 2004). Em resumo, “um canal é um grupo de entidades interessadas que assume a propriedade de produtos ou viabiliza sua troca durante o processo de comercialização, do fornecedor inicial até o comprador final” (Bowersox e Closs, 2001).

Os canais de distribuição podem ter estrutura vertical, de modo que a responsabilidade pelo produto passa de segmento a segmento, conforme vai sendo transferido, até chegar ao varejista que é responsável pela satisfação do consumidor e pela pós-venda. Nesta estrutura, a manufatura e o atacadista desempenham apenas papéis de apoio, atuando antes da venda do produto (Novaes, 2004). Nos canais de distribuição híbridos, uma parte das funções ao longo do canal é executada em paralelo por dois ou mais elementos da cadeia. Os canais híbridos causam alguns problemas, pois pode ocorrer a duplicidade de algum dos elementos da cadeia de suprimentos. Neste caso, a presença de forte liderança de um dos participantes da cadeia é essencial para que não ocorram perdas no processo como um todo.

A extensão de um canal de distribuição está ligada ao número de níveis intermediários na cadeia de suprimentos, desde a manufatura até o consumidor final. O chamado canal de nível zero acontece quando o fabricante vende seu produto diretamente ao

consumidor. Quando os varejistas compram seus produtos diretamente dos fabricantes e revendem para o consumidor, há um canal de um nível – o mais comum. Há também canais de dois níveis, quando o varejista adquire os produtos no atacadista e este nos fabricantes.

A amplitude do canal é definida para cada segmento intermediário da cadeia de suprimentos, sendo representada pelo número de empresas que nela atuam (Novaes, 2004). Na prática, há três tipos de amplitude: (i) distribuição exclusiva (amplitude única) – existe apenas uma empresa atuando em cada região demarcada pelo fabricante do produto; (ii) distribuição seletiva (amplitude múltipla, mas controlada) – existe mais do que uma companhia atuando num mesmo mercado, mas de forma controlada, sendo a intenção garantir o acesso ao produto de forma que haja certa competição entre os comerciantes; e (iii) distribuição intensiva (amplitude múltipla, aberta) – o fabricante tenta colocar seu produto através do maior número possível de revendedores. A escolha de uma destas alternativas depende, essencialmente, do produto comercializado (Novaes, 2004): (i) produtos de consumo freqüente - são produtos consumidos no dia-a-dia cuja distribuição intensiva facilita a compra; (ii) produtos que envolvem pesquisa antes da compra – produtos cujo tipo de compra não é tão freqüente, sendo, para tal, aconselhada a distribuição seletiva; e (iii) produtos especiais: têm alto valor e são adquiridos esporadicamente, sendo a distribuição exclusiva a mais indicada para este tipo de produto.

Com todo o avanço da tecnologia e do sistema de informações, os canais estão sendo encurtados dentro da cadeia de suprimentos. Os atacadistas são os mais propensos a serem eliminados da cadeia, pois com estes avanços, o varejista tem acesso mais direto ao fabricante. O grande problema que esta mudança acarreta é a transição de uma estrutura tradicional, com vários intermediários no canal, para uma estrutura enxuta, com um canal bem mais curto. Quando um atacadista ou distribuidor atua há muito tempo na cadeia, é difícil eliminá-lo, pois o seu papel de intermediário financeiro é forte, além do fato desta substituição implicar grandes investimentos em infra-estruturas e risco de insucesso, não-desprezíveis para a cadeia de suprimentos (Novaes, 2004).

São inúmeras as tarefas que devem ser realizadas para que o canal logístico seja eficiente. Estimula-se, então, a cooperação entre empresas distintas de forma que estas combinem competências para criar uma única estrutura de canal (Bowersox e Closs, 2001). Cada participante de canal é detentor de uma competência para executar serviços específicos.

Assim, torna-se cada vez mais nítida a necessidade de colaboração com clientes e fornecedores para que as empresas satisfaçam as necessidades logísticas e de marketing. Para alcançar um alto grau de cooperação, é necessário que os participantes da cadeia de suprimentos compartilhem informação, para que possam planejar em conjunto os melhores meios de satisfazer suas necessidades, reduzindo então o trabalho duplicado e o risco da especulação em estoque (Bowersox e Closs, 2001).

De acordo com Novaes (2004), quando se analisa o sistema de distribuição, percebe-se a participação de alguns componentes essenciais: (i) instalações fixas; (ii) estoque de produtos; (iii) meios de transporte; (iv) informações diversas (quantidade de produtos a ser entregue para cada cliente, condições, roteiros/seqüência de distribuição das mercadorias aos clientes etc.); (v) *hardware* e *software* diversos; (vi) uma estrutura de custos adequada para os serviços logísticos; e (vii) a participação de pessoas capacitadas e bem treinadas. Vistos os componentes principais de um sistema de distribuição, deve-se ressaltar que há dois tipos básicos de distribuição física de produtos (Novaes, 2004): distribuição 'um para um' e distribuição compartilhada. Na distribuição 'um para um', o carregamento do veículo é realizado de forma a lotá-lo completamente, visando o melhor aproveitamento da sua capacidade. Por sua vez, na distribuição compartilhada, ou 'um para muitos', o veículo é carregado no centro de distribuição do varejista com mercadorias destinadas a diversas lojas ou clientes, e executa um roteiro de entrega pré-determinado.

Os conceitos apresentados nesta seção são fundamentais para a compreensão da rede logística como um todo. A correta representação e análise da rede logística influencia diretamente as atividades logísticas. Desta forma, a rede logística e seus componentes têm um papel importante no planejamento logístico, conforme exposto na próxima seção.

2.3 PLANEJAMENTO LOGÍSTICO

As atividades que compõem a logística empresarial variam de empresa para empresa, de acordo com sua estrutura organizacional e, principalmente, com as diferenças de opinião sobre o conceito de logística. Em muitos casos, a logística é considerada como um sistema de distribuição, todavia esta deve ser concebida como uma atividade suporte em todos os campos (Kobayashi, 2000). De acordo com o CLM, as principais atividades da logística empresarial são: (i) serviços ao cliente; (ii) previsão de vendas; (iii) comunicação de distribuição; (iv)

controle de estoque; (v) manuseio de materiais; (vi) processamento de pedidos; (vii) peças de reposição e serviço de suporte; (viii) seleção do local de planta e armazenagem (análise de localização); (ix) compras; (x) embalagem; (xi) manuseio de mercadorias devolvidas; (xii) recuperação e descarte de sucata; (xiii) tráfego e transporte; e (xiv) armazenagem e estocagem (Ballou,2001). Estas atividades são representadas na cadeia logística apresentada na figura 3.

Para o gerenciamento integrado e a conclusão das tarefas logísticas, é essencial o planejamento e a coordenação destas atividades, uma vez que elas contribuem efetivamente para os custos logísticos e para o desempenho da cadeia. Segundo Ballou (2001), as atividades logísticas podem ser classificadas em atividades-chave e atividades de suporte. A seguir são enumeradas as principais decisões associadas a estas atividades, de acordo com a ótica do mesmo autor.

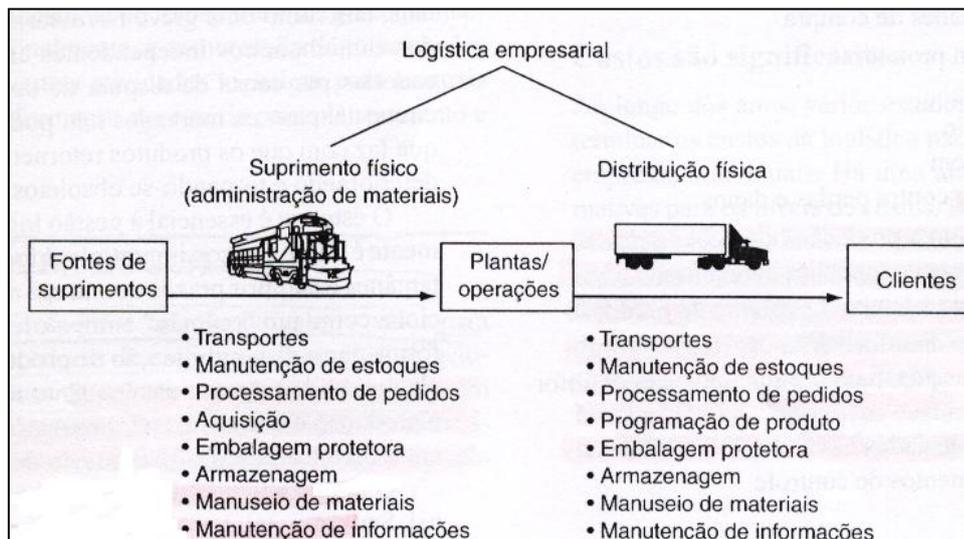


Figura 3 Atividades de uma cadeia de suprimentos

Fonte: adaptado de Ballou (2001 p. 23)

2.3.1 Atividades-chave do Planejamento Logístico

As atividades-chave são aquelas que ocorrem em todo canal logístico, estando em seu circuito crítico e contribuindo majoritariamente com o custo logístico total. Estas atividades são essenciais à coordenação eficaz e à conclusão das tarefas logísticas. Em seguida são listadas as decisões relevantes a cada atividade.

1. Padrões de serviço ao cliente : o padrão de serviço ao cliente determina o nível de produção e o grau de preparação que o sistema logístico deve atingir, além de

influenciar diretamente os custos logísticos. Em conjunto com o marketing, esta atividade busca: determinar as necessidades e os desejos dos clientes para os serviços logísticos, determinar a reação dos clientes aos serviços e estabelecer o nível de serviços a clientes.

2. Transportes: o transporte é responsável por adicionar valor de lugar aos produtos e serviços. Suas principais decisões englobam a seleção do modal, a consolidação de fretes, a roteirização do transporte, a programação de veículos, a seleção de equipamentos, o processamento de reclamações e a auditoria de tarifas.
3. Administração de estoques: assim como o transporte, o estoque é considerado uma atividade logística primária na absorção de custos. Este adiciona valor de tempo aos produtos, funcionando como um “pulmão” entre a oferta e a demanda, fornecendo assim à produção e à logística maior flexibilidade. De acordo com Bowersox e Closs (2001), a necessidade de estoque de uma empresa depende da estrutura da cadeia e do nível desejado de serviço ao cliente. Estoques excessivos compensam falhas no projeto básico da rede logística ou deficiências de gerenciamento da cadeia, porém resultam em custos maiores que os necessários. Enquadram-se nesta atividade as seguintes decisões: políticas de estocagem, previsão de vendas de curto prazo, combinação de produtos em pontos de estocagem, número, tamanho e local dos pontos de estocagem e estratégias de gerenciamento de estoques.
4. Fluxo de informações e processamento de pedidos: apesar de ter um custo inferior ao custo de transporte ou manutenção de estoques, o processamento de pedidos é uma etapa fundamental da cadeia logística, tendo importância significativa no tempo total necessário para que um cliente receba a mercadoria. Dentre as principais decisões a serem tomadas, destacam-se: procedimentos de interface dos estoques com pedidos de venda, métodos de transmissão de informações de pedido e regras de pedidos.

2.3.2 Atividades de Suporte do Planejamento Logístico

As atividades de suporte são consideradas como contribuintes para a realização da missão logística. A seguir são enumeradas as principais decisões associadas a estas atividades.

1. Armazenagem: são suas principais funções a determinação do espaço, a disposição do estoque e o desenho de docas, a configuração do armazém e a localização de estoque;

2. Manuseio de materiais: suas principais decisões são a seleção de equipamentos, as políticas de reposição de equipamentos, os procedimentos de coleta de pedidos e a alocação e a recuperação de materiais;
3. Compras: entres as funções desta atividade se enquadram a seleção de fontes de suprimentos, a escolha do momento da compra e a escolha da quantidade a comprar.
4. Embalagem protetora: esta atividade é responsável pelo projeto para manuseio, estocagem e proteção contra perdas e danos.
5. Manutenção da informação: as principais decisões englobam a coleta, o arquivamento e a manipulação da informação, a análise de dados e os procedimentos de controle.

É importante ressaltar que algumas das atividades, sejam elas atividades-chave ou de suporte, estão na interface de marketing e logística ou de produção/operações e logística, de modo que não podem ser geridas efetivamente dentro de uma única área funcional, conforme ilustrado na figura 4. Segundo Ballou (2001), as atividades de interface não devem ser gerenciadas por uma única função, uma vez que pode levar a desempenho não otimizado. Para que estas atividades sejam administradas eficientemente, deve ser estabelecido algum incentivo ou mecanismo para a cooperação entre as funções envolvidas.

2.3.3 Operacionalização do Planejamento Logístico

O planejamento logístico é um subplano, que deve estar de acordo com o plano corporativo e as estratégias da empresa. “Para a gestão logística, o planejamento gira em torno de um triângulo primário de decisões de localização, de estoques e de transporte, com serviços ao cliente sendo resultado dessas decisões”, conforme representado na figura 5 (Ballou, 2001).

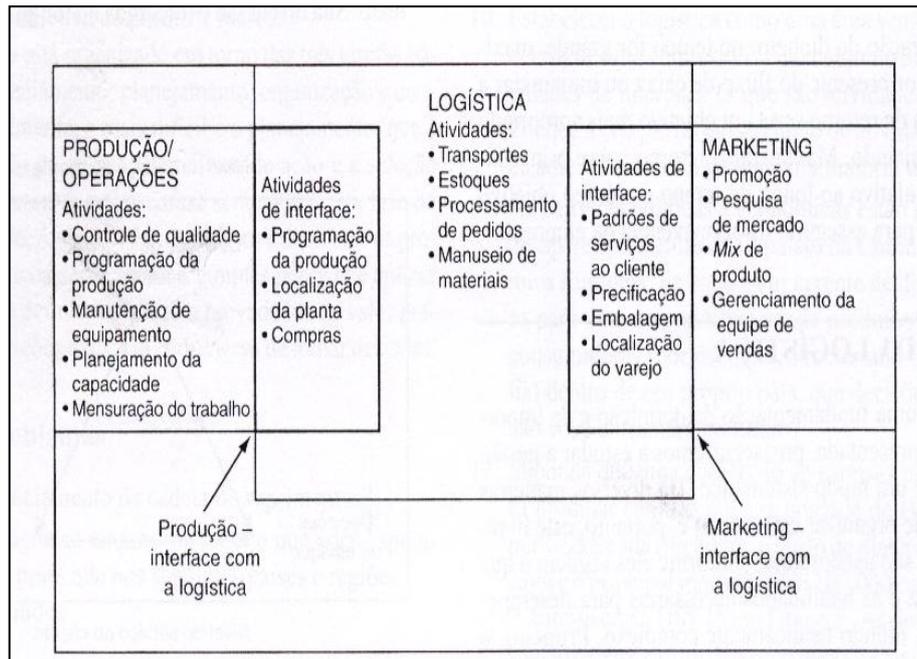


Figura 4 Interfaces da Logística com o Marketing e a Produção

Fonte: adaptado de Ballou (2001 p. 33)

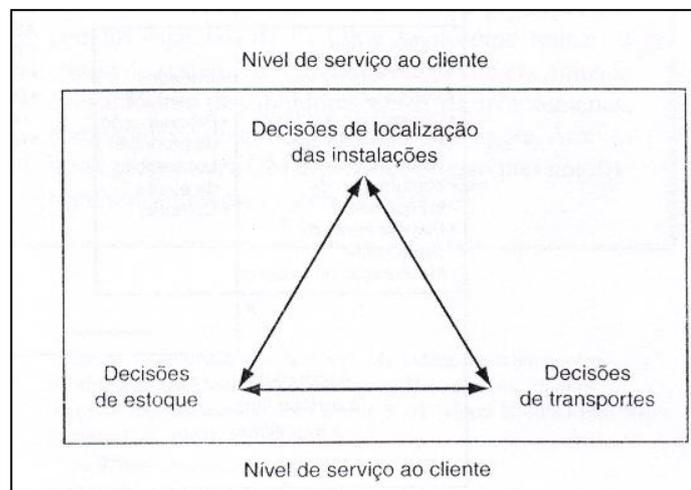


Figura 5 Planejamento Logístico

Fonte: adaptado de Ballou (2001 p. 34)

De acordo com o horizonte de tempo considerado para o planejamento logístico, este pode ser de nível estratégico, tático ou operacional. Segundo Ballou (2001), cada nível de planejamento exige uma perspectiva diferente: o planejamento estratégico opera com dados que são freqüentemente imprecisos e incompletos e não apresenta resultados tão fidedignos, enquanto no planejamento operacional são utilizados dados mais acurados e obtêm-se planos razoáveis.

No âmbito estratégico, a empresa decide como estruturar a cadeia de suprimentos. As decisões são tomadas pensando-se em longo prazo e sua alteração repentina é muito cara. Desta forma, quando as empresas tomam essas decisões devem considerar a incerteza gerada pela antecipação das condições de mercado futuros (Chopra e Meindl, 2003). Nesta fase, o planejamento logístico engloba quatro áreas principais: (i) níveis do serviço ao cliente; (ii) localização das instalações; (iii) decisões de estoque, e (iv) decisões de transporte (Ballou, 2001).

O desempenho das atividades de suprimentos e de distribuição depende da correta representação e análise da rede logística. Segundo Alvarenga e Novaes (2000), a rede logística é a “representação físico-espacial dos pontos de origem e destino das mercadorias, bem como de seus fluxos e demais aspectos relevantes”, englobando a rede de suprimentos e a de distribuição. A rede logística deve ser analisada em consenso pelo setor de marketing, finanças e logística, de modo que sejam contemplados os custos, a estrutura operacional e o nível de atendimento dos clientes.

A otimização da rede logística é alcançada através da análise estratégica da localização das instalações, de forma que este problema integra a cadeia logística como um todo, envolvendo tanto a logística de suprimentos quanto à de distribuição. Assim, as decisões sobre instalações em uma rede logística influenciam o desempenho e eficiência das atividades da logística de suprimentos e de distribuição. Estas decisões definem a estrutura física do sistema logístico, limitando, então, os custos e os níveis de serviços que poderão ser alcançados pela cadeia de suprimentos.

A estratégia da localização de instalações é uma das responsabilidades básicas da gerência de logística, sendo o problema de localização de depósitos o mais freqüente. Neste trabalho será abordada com maior nível de detalhamento a estratégia da localização de instalações. No capítulo a seguir será enfatizada a teoria da localização e sua importância para

o planejamento logístico. Serão abordados também os diferentes custos que afetam a decisão da localização e os processos necessários para a modelagem do problema de localização de depósitos.

3 TEORIA DA LOCALIZAÇÃO

A definição da localização de instalações em uma rede logística, sejam elas fábricas, depósitos ou terminais, é um dos problemas mais importantes para a eficiência da cadeia de suprimentos, devido aos altos investimentos envolvidos e ao seu impacto sobre os custos logísticos. Neste capítulo serão analisadas as principais decisões sobre instalações em uma cadeia de suprimentos, sendo abordadas com maior detalhamento aquelas que definem a estratégia de localização de depósitos. Em seguida, serão apresentados os principais custos logísticos que afetam a decisão da localização de depósitos, chegando, então, a um custo total. Serão abordados os principais métodos de solução utilizados para determinar o número ideal de depósitos em uma cadeia de suprimentos, a sua distribuição geográfica, a sua capacidade nominal e a alocação de clientes e fábricas a cada um dos depósitos.

3.1 DECISÕES SOBRE INSTALAÇÕES EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS

A estratégia da localização de instalações é uma das responsabilidades básicas da gerência de logística, que busca determinar a quantidade e a localização de todas as instalações necessárias para o funcionamento da cadeia logística, desde fábricas a armazéns e instalações de *cross dock*. De acordo com Bowersox e Closs (2001), também é de extrema importância a determinação do tipo de estoque e volume que será armazenado em cada instalação, além de vincular os pedidos de clientes aos locais onde será feita a expedição. Desta forma, para empresas globais, o projeto de localização de instalações torna-se mais complexo e de difícil execução.

Segundo Chopra e Meindl (2003), as decisões sobre instalações referem-se à localização de fábricas, armazéns ou instalações ligadas ao transporte e à alocação de capacidades e funções para cada instalação. O autor denomina estas questões como decisões de projetos de rede da cadeia de suprimentos e as classifica em quatro etapas interdependentes:

1. Papel das instalações, na qual são estabelecidos quais processos serão desenvolvidos em cada instalação;
2. Localização das instalações: Uma boa decisão sobre localização pode ajudar a cadeia a ser mais eficiente, mantendo menores custos. Estas questões exercem um impacto em longo prazo no desempenho da cadeia, já que é muito caro fechar uma instalação ou mudá-la de localidade;
3. Dimensionamento da capacidade;
4. Alocação de mercados e suprimentos, onde são determinados quais mercados serão atendidos pela instalação e quais fornecedores irão alimentá-la. À medida que as condições de mercado ou a capacidade das fábricas mudam, esta decisão deve ser reconsiderada.

A economia clássica negligenciou a importância da localização de instalações, uma vez que os custos de transporte ou de localização de instalações em pontos distintos eram descartados ou considerados equivalentes, não sendo então abordados em análises econômicas (Bowersox e Closs, 2001). Contudo, a estratégia de localização de instalações afeta diretamente o custo e a capacidade de prestação de serviços aos clientes. Para Chopra e Meindl (2003), as decisões do projeto de rede “determinam a configuração da cadeia de suprimentos e estabelecem restrições dentro das quais estoques, transporte e informações podem ser usados, tanto para reduzir o custo da cadeia, como para aumentar a produtividade.”

As decisões de projetos de rede são influenciadas por fatores macroeconômicos, políticos, estratégicos, tecnológicos, competitivos, logísticos, operacionais e de infra-estrutura (Chopra e Meindl, 2003). A estratégia de uma empresa influencia diretamente estas decisões: uma empresa que prioriza custos tenderá a localizar suas instalações em locais mais distantes, com custos menores. Contudo, empresas que visam à flexibilidade podem preferir localizar suas instalações em locais mais caros, porém mais próximos dos consumidores. A tecnologia de produção disponível também exerce um impacto significativo nas decisões de projeto de rede. Caso a tecnologia requiera um alto investimento, costuma-se optar por poucas instalações com alta capacidade. O mesmo ocorre com instalações de armazenagem: depósitos automatizados que necessitem equipamentos de tecnologia de ponta costumam ter grandes capacidades, devido ao custo de investimento inicial.

À medida que os mercados se tornam globais, fatores macroeconômicos (impostos, tarifas, taxas de câmbio etc) e políticos exercem maior influência sobre o desempenho das redes de suprimentos. A disponibilidade de infra-estrutura também é um fator decisivo para a construção de uma instalação em determinada área. De acordo com Chopra e Meindl (2003), os elementos-chave de infra-estrutura a serem considerados são: disponibilidade de locais, de mão-de-obra, proximidade de terminais de transportes, portos e aeroportos, acesso a estradas e serviço ferroviário, congestionamentos e serviços públicos locais. Segundo Álvares e Ramón (1997), a localização da indústria está cada vez menos associada à proximidade de fontes de matéria-prima ou de mercados consumidores, sendo cada vez mais dependente da acessibilidade a redes de transporte e seus terminais. O processo de localização, sobretudo, se torna mais complicado em decorrência de fatores como a legislação ambiental e regulamentações políticas (Bowersox e Closs, 2001).

Em pesquisa realizada pela revista *Transportation Magazine* (1999) em empresas americanas de diversos setores, 57% das entrevistadas declararam dedicar menos de um ano de estudo a projetos de localização de instalações, enquanto 34% das organizações afirmaram despende de 1 a 2 anos nestes projetos. Entre os elementos que influenciam a estratégia de localização de centros de distribuição, constatou-se que os dez fatores de maior relevância são: baixo custo de propriedade e instalação, facilidade de transporte rodoviário, proximidade dos clientes, baixo custo da mão-de-obra, taxas e impostos baixos, isenção fiscal, possibilidade de crédito, baixo envolvimento de trabalhadores locais em sindicatos, disponibilidade de locais para expansão e atitude favorável da comunidade em relação a novos empreendimentos (Schwartz, 1999).

A estratégia da localização de instalações deve ser constantemente revisada de forma a adaptá-la às mudanças na oferta e demanda de produtos. Contudo, na pesquisa supracitada, 42,1% das empresas respondentes declararam não avaliar suas cadeias logísticas com regularidade, exceto quando ocorre algum problema (Schwartz, 1999). Para Bowersox e Closs (2001), a variedade de produtos, a demanda de clientes e as necessidades de fabricação estão em constante mudança em um ambiente competitivo. Assim, torna-se essencial a reavaliação da localização das instalações. Segundo os autores, uma melhor rede em termos de localização pode implicar em vantagens competitivas. Esta teoria também é de grande aplicabilidade no caso de fusões e aquisições de empresas.

3.2 ESTRATÉGIA DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

A localização geográfica dos pontos de estocagem e suas fontes de fornecimento criam um esboço para o plano logístico (Ballou, 2001). A fixação da quantidade de armazéns, sua localização e capacidade determinam os meios através dos quais os produtos chegam ao mercado. Assim, as decisões de localização definem a estrutura física do sistema logístico, limitando os custos e os níveis de serviços que poderão ser alcançados pela cadeia de suprimentos.

Uma crença comum em diversos negócios, conhecida como o paradigma da presença local, é de que a empresa deve possuir muitos armazéns locais para oferecer níveis de serviços adequados (Bowersox e Closs, 2001). Em geral, o número de instalações a serem construídas é inversamente proporcional ao tempo de resposta desejado pelos clientes, conforme ilustrado na figura 6. Empresas cujos clientes necessitam de rapidez na resposta precisam estar perto deles, de modo que devem possuir seu estoque pulverizado em diversas instalações de pequena capacidade (Chopra e Meindl, 2003). Contudo, avanços nos serviços de transporte e na tecnologia da informação tornaram as datas de entrega mais confiáveis e previsíveis, possibilitando a redução do tempo de transmissão e processamento de informações, além do monitoramento e rastreamento de carregamentos. Estes fatores, associados aos custos crescentes de estoques, têm contribuído para a redução do número necessário de armazéns e para a mudança de percepção do tradicional paradigma da presença local.

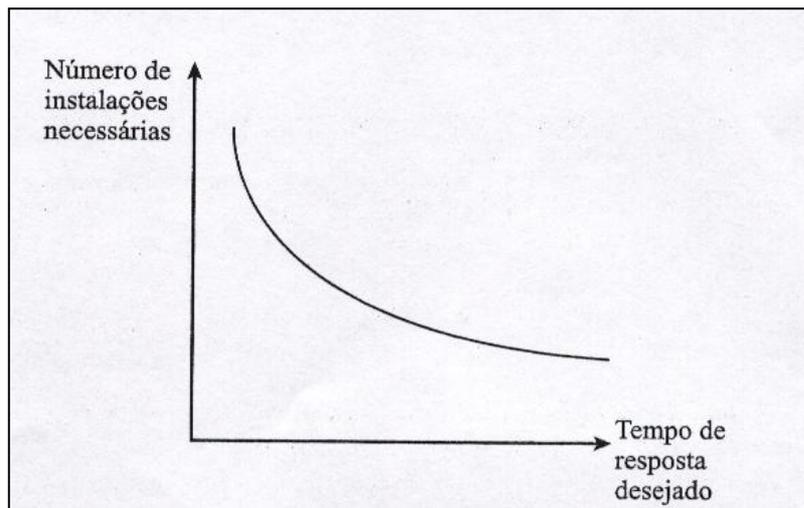


Figura 6 Relação entre o tempo de resposta desejado e o número de depósitos

Fonte: Chopra e Meindl (2003 p. 317)

Em geral, as decisões de localização de centros de distribuição são influenciadas pelos mesmos fatores que influenciam as decisões de projetos de rede expostos anteriormente. Hoffman (2005) afirma que, nos Estados Unidos, o custo de instalação de um depósito pode apresentar grande variabilidade de acordo com o local escolhido devido a variações no custo da mão-de-obra para a construção do empreendimento. Segundo o autor, o custo de construção de um centro de distribuição de 350.000 m² na cidade de Nova York é 44% superior ao custo de construção de uma instalação idêntica em Nashville. Contudo, Gentry (2003) considera que a infra-estrutura de transporte e a disponibilidade de mão de obra são fatores mais relevantes para o processo de localização de depósitos do que o custo de instalação.

Para Gentry (2003), o recrutamento, treinamento e manutenção da mão de obra são uns dos maiores desafios na operação de um centro de distribuição, uma vez que a taxa de rotatividade entre os trabalhadores neste setor é muito alta. Trunick (2004) sugere que, além de treinamentos e incentivos, um bom método para reduzir a taxa de rotatividade entre os trabalhadores é considerar a atitude da população local em relação à instalação do novo depósito como um fator no processo de decisão. Uma comunidade ansiosa para a abertura de novos empreendimentos e para geração de empregos tende a oferecer maior apoio e a dedicar-se mais ao trabalho, apresentando desempenhos superiores às demais.

Muitas empresas têm desenvolvido estudos de localização de seus depósitos a fim de buscar maior competitividade, seja pelo aumento da eficiência na operação de sua cadeia logística ou pelo aumento do nível de serviço oferecido. Os altos custos envolvidos na abertura e fechamento de depósitos fazem com que a decisão de localização não seja facilmente reversível, de forma que a importância do processo de análise de localização torne-se crítico.

É importante ressaltar que as análises associadas à localização de depósitos possuem características distintas daquelas associadas à localização de instalações industriais ou de pontos de varejo. No exemplo de localização de um armazém ou de uma fábrica, os fatores econômicos geralmente são dominantes, enquanto que para a instalação de um ponto de varejo, o rendimento gerado é o fator de maior importância (Ballou, 2001). A instalação de uma fábrica é um processo que envolve investimentos superiores ao da instalação de um depósito, além de uma vida útil e um período de *pay-back* mais longos, acarretando, então, em

maiores riscos e incertezas. A estratégia de localização de fábricas é mais complexa por necessitar de avaliações a médio e longo prazo de uma gama maior de fatores, tais como: de disponibilidade e custo de mão-de-obra, infra-estrutura, acessibilidade à matéria-prima e energia, disponibilidade de meios de transporte, concorrência, impacto ambiental da planta e vantagens fiscais associadas às regiões (Leal, 1995).

Entre as decisões de localização enfrentadas pelos profissionais de logística, aquelas referentes aos armazéns são as mais freqüentes (Bowersox e Closs, 2001). Em um estudo de localização de armazéns, tipicamente, busca-se determinar as seguintes questões: (i) quantos centros de distribuição a empresa deve operar; (ii) onde eles devem estar localizados; (iii) quais clientes devem ser supridos por cada centro; (iv) quais fornecedores deverão atendê-lo; (v) que linhas de produto devem ser estocadas em cada centro, e (vi) qual deve ser a capacidade deste centro de distribuição.

Os depósitos representam parte do esforço geral de uma empresa para obter utilidade de tempo e local. A inclusão de um novo depósito em rede logística só será realizada caso proporcione vantagens de serviço e de custo, aumentando o impacto de vendas e de marketing ou reduzindo os custos totais (Bowersox e Closs, 2001). As aplicações de um estudo de localização de depósito são muito amplas, podendo envolver níveis estratégico, táticos ou operacionais. A determinação do número, tamanho e localização de depósitos, por exemplo, são decisões estratégicas, enquanto a alocação de clientes aos depósitos é uma decisão tática (Lacerda, 2004). Estas análises podem ser desenvolvidas, ainda, para a avaliação dos impactos que as possíveis mudanças na estrutura de suprimentos e de distribuição poderiam acarretar para os negócios da empresa.

Em um estudo de localização de depósitos, busca-se minimizar o custo logístico total para um determinado nível de serviço. Assim, é fundamental uma análise minuciosa dos *trade-offs* entre os custos e o nível de serviço, relativos a um aumento no número de armazéns. Para Wanke (2004), os principais pontos a serem considerados nesta análise são: (i) a melhoria nos níveis de serviço em função de reduções no tempo de entrega ao cliente final; (ii) o aumento nos custos de manutenção de estoques devido a acréscimos nos níveis do estoque de segurança necessários para proteger os armazéns contra as incertezas na demanda; e (iii) o acréscimo de gastos administrativos, de transporte de distribuição e de suprimentos. Segundo Lee e Billington (1992), além do menor custo, também se deve considerar o efeito

das mudanças das redes logísticas sobre os fatores de eficiência operacional, tais como investimentos em estoques e tempos de resposta de pedidos. De acordo com Korpela *et al.* (2001) e Lehmusvaara (1998), o foco principal da logística não se encontra fixo apenas na minimização de custos, sendo dada cada vez mais atenção ao fornecimento de melhores serviços ao cliente.

Salienta-se que existem outras estratégias disponíveis para a localização de depósitos: maximização do serviço, maximização da vantagem competitiva e alocação mínima de ativos. Segundo Bowersox e Closs (2001), raramente é implementado um sistema que vise à maximização de um serviço, porém esses sistemas deslocam o objetivo do projeto do custo para a disponibilidade e desempenho da entrega. Uma empresa também pode adotar a estratégia de manter uma flexibilidade máxima, de modo que prefira utilizar componentes logísticos de custo variável, como depósitos públicos e transporte contratado. Com esta estratégia de alocação mínima de ativos, os custos logísticos totais seriam maiores, porém o risco seria reduzido. Neste trabalho será dada maior ênfase para a estratégia de menor custo. A seguir serão abordados os principais custos logísticos e de instalações envolvidos na estratégia de localização de depósitos.

3.3 CUSTOS NA ESTRATÉGIA DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Ao determinar a estratégia de localização de depósitos, as empresas devem considerar os custos logísticos e de instalações. Para diferentes cenários de número, localização e capacidade de instalações, têm-se custos distintos. Assim, encontrar a distribuição de mais baixo custo ou, alternativamente, a de máximo lucro é a essência da estratégia de localização.

O estoque necessário para sustentar um depósito compreende estoques em trânsito, básico e de segurança. O estoque básico é a porção do estoque médio que se recompõe pelo processo de suprimentos, de forma que sua determinação é independente do número de depósitos incluído no sistema. O acréscimo do número de depósitos acarreta em uma redução do número total de dias em trânsito no sistema, o que acarreta na redução do estoque em trânsito. O estoque de segurança, por sua vez, visa proteger o sistema da variabilidade da demanda. Assim, o estoque de segurança tende a aumentar em função do aumento do número de estoques, dado a incapacidade de agregar a incerteza em uma grande área de mercado

(Bowersox e Closs, 2001). Conforme representado na figura 7, a curva \bar{E} de estoque médio representa o impacto combinado do estoque de segurança e do estoque em trânsito. Observa-se que o estoque médio tende a aumentar à medida que o número de depósitos é acrescido.

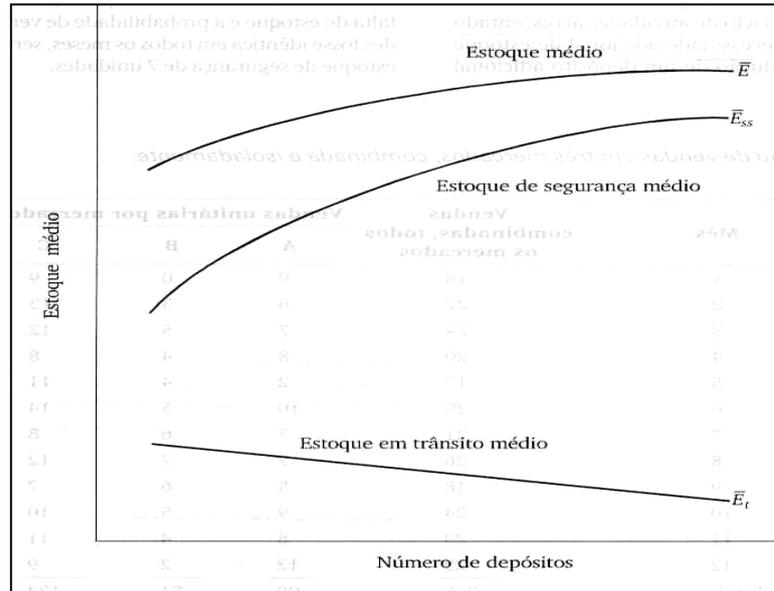


Figura 7 Estoque médio em função do número de depósitos

Fonte: Bowersox e Closs (2001 p. 424)

Os custos de estoques compreendem, então, os custos de manipulação, custos de oportunidade do capital investido, custo de obsolescência e perda dos produtos (Leal, 1995). Estes custos são proporcionais aos níveis de estoque de cada armazém. À medida que o número de instalações aumenta, o estoque e, conseqüentemente, os custos de estoque aumentam, conforme pode ser observado na figura 8. Para reduzir estes custos, as empresas tentam consolidar e limitar o número de instalações em sua rede (Chopra e Meindl, 2003).

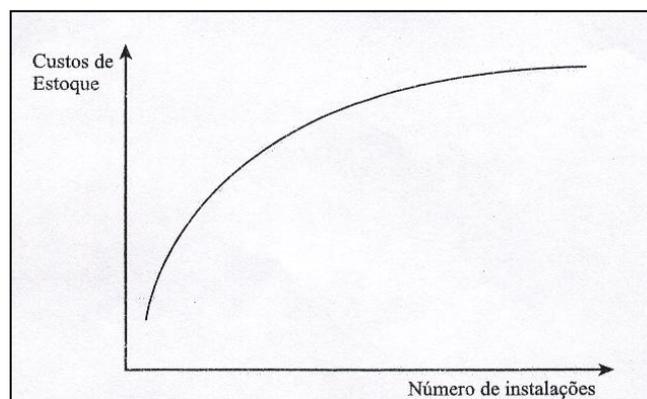


Figura 8 Relação entre o custo de estoque e o número de depósitos

Fonte: Chopra e Meindl (2003 p. 318)

Os custos de transportes normalmente incluem os custos de transporte de entrada (são aqueles contraídos na chegada de material à instalação) e custos de transporte de saída (aqueles contraídos ao enviar material de uma instalação). Estes custos dependem de uma série de fatores, dentre os quais se pode citar: (i) o modal utilizado para a transferência de mercadorias; (ii) as características da mercadoria transportada - volume, peso, perecibilidade, fragilidade; (iii) a distância percorrida e (iv) questão da propriedade do meio de transporte - próprio, público e privado (Leal, 1995).

Sob o aspecto de economia de transporte, a vantagem da decisão de estabelecimento de um novo depósito é a consolidação do transporte (Bowersox e Closs, 2001). Como pode ser verificado na figura 9, o custo total de transporte tende a cair à medida que novos armazéns são incorporados à rede logística. Todavia, se o número de instalações é elevado até o ponto em que os tamanhos dos lotes de entrada sejam reduzidos, o aumento no número de instalações acarreta no acréscimo do custo de transporte (Chopra e Meindl, 2003).

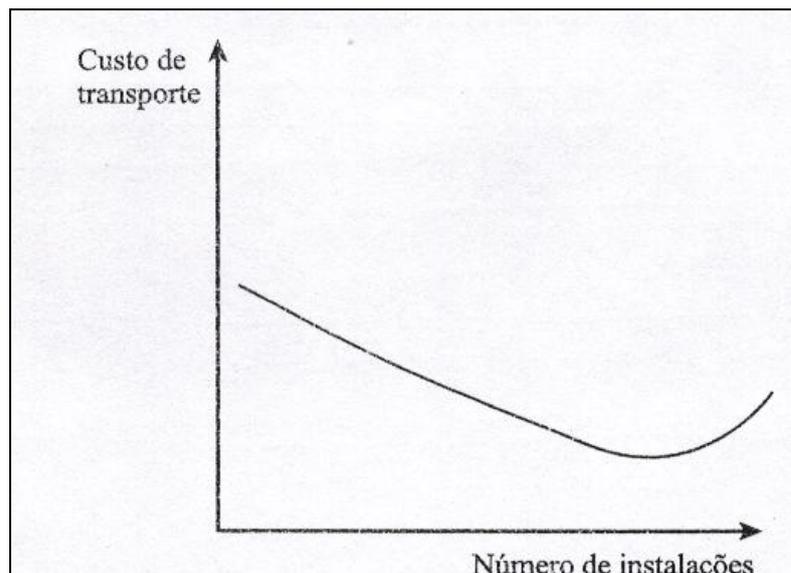


Figura 9 Relação entre o custo de transporte e o número de depósitos

Fonte: Chopra e Meindl (2003 p. 318)

Os custos de manutenção dos depósitos são formados por dois componentes principais: (i) os custos ligados à operação do depósito, que são proporcionais ao fluxo anual de produtos no armazém e representam os gastos com mão de obra e equipamentos, e (ii) os custos fixos, que correspondem à parcela não variável dos custos de funcionamento do armazém. Fatores como custos com aluguéis, depreciação, taxas e seguros, ou construção são

considerados fixos, pois são independentes do nível de atividade do depósito. Conforme pode ser verificado na figura 10, os custos de instalação são diretamente proporcionais ao número de instalações.

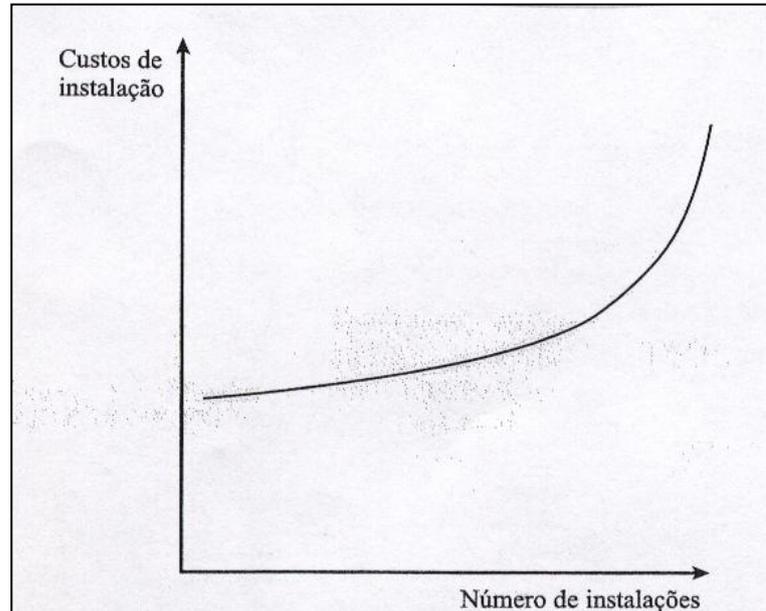


Figura 10 Relação entre o custo de instalações e o número de depósitos

Fonte: Chopra e Meindl (2003 p. 319)

Considera-se a soma dos custos de estoque, transporte e instalações como o custo logístico total. Conforme pode ser observado na figura 11, à medida que o número de instalações é elevado, o custo total diminui em um primeiro momento e depois aumenta. Em geral, as empresas tendem a optar pelo número de instalações que minimize os seus custos logísticos totais. Entretanto, a empresa poderá aumentar o número de instalações para além do ponto que minimiza os custos logísticos caso queira maior flexibilidade e velocidade de resposta ao cliente. Esta medida só é viável se o aumento proporcionado nas receitas for superior ao acréscimo dos custos gerados pelas instalações adicionais (Chopra e Meindl, 2003).

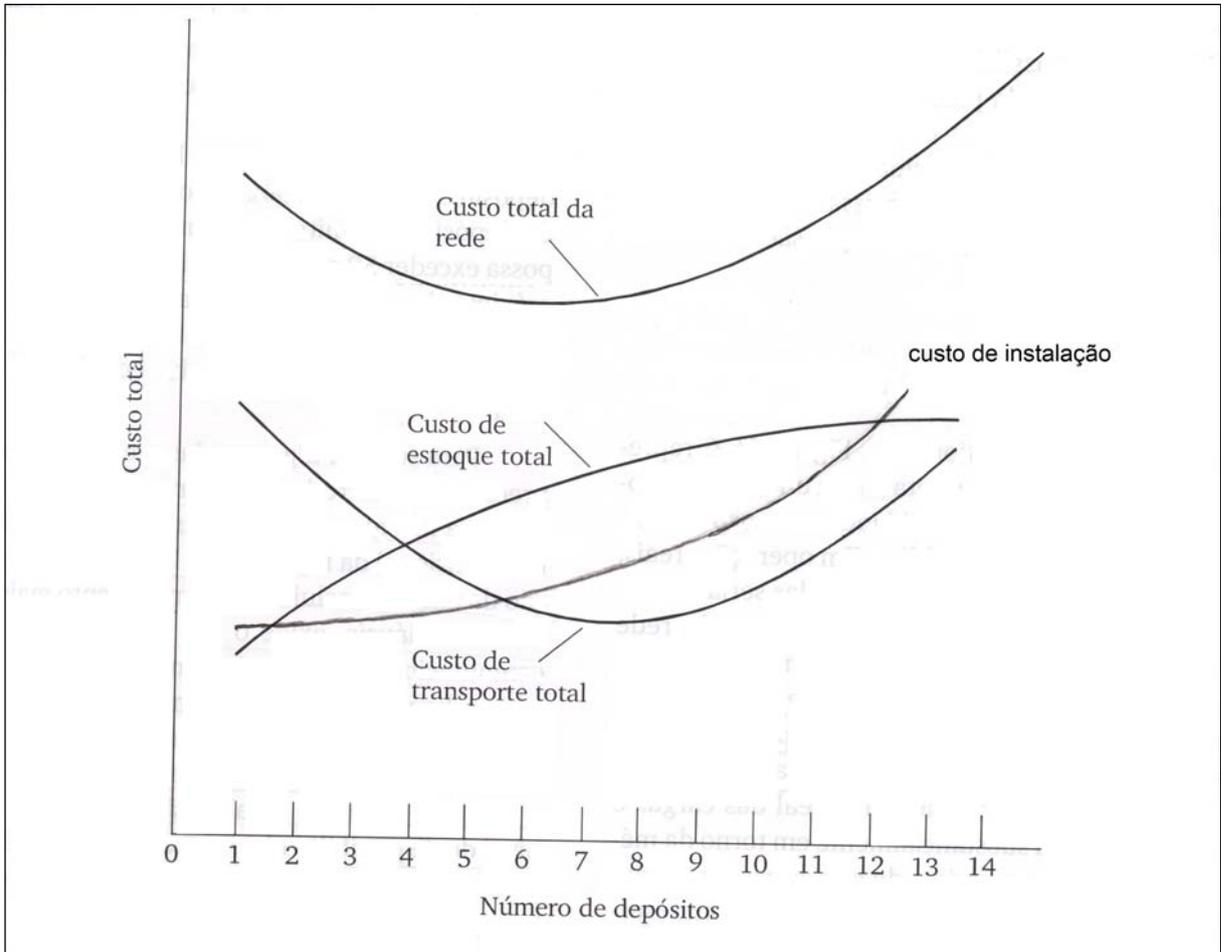


Figura 11 Relação entre o custo logístico total e número de depósitos necessários

Fonte: adaptado Bowersox e Closs (2001 p. 425)

O gráfico ilustrado na figura 11 representa dados projetados em um único período de planejamento. O problema de localização de depósitos tem um horizonte de planejamento de longo prazo. Bowersox e Closs (2001) afirmam que “uma abordagem realista ao planejamento deve incorporar uma variedade de tamanhos de cargas apoiada por métodos logísticos alternativos”, com modos alternativos de transportes. Uma análise mais detalhada de localização de depósitos, que inclua um tratamento completo das variáveis, exige o uso de modelos e técnicas computacionais de planejamento. Contudo, para que estas técnicas sejam aplicadas é essencial que haja um levantamento minucioso dos dados e das informações necessárias para a análise. Estas questões são abordadas a seguir.

3.4 DADOS NECESSÁRIOS PARA A ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

De acordo com Wanke (2004), as principais informações relevantes a um estudo de localização são: (i) localização de clientes, de varejistas, de armazéns existentes, de centros de distribuição, de fábricas e fornecedores; (ii) levantamento de produtos movimentados, suas relações peso/ volume e características especiais; (iii) demanda atual de cada produto em cada localidade; (iv) fretes por cada modal de transporte; (v) custos de armazenagem, incluído mão-de-obra, custos fixos com instalações, espaços e impostos; (vi) tamanho e frequência dos carregamentos de uma instalação à outra; (vii) custos de processamento de pedidos; e (viii) metas e exigências de pedidos.

Bowersox e Closs (2001) sugerem que no mínimo três variáveis críticas devem ser consideradas no processo de localização de depósitos: o tamanho das cargas, o modal de transporte e as alternativas de localização. As constantes são o nível de disponibilidade de estoque, a duração do ciclo de atividades e as localizações específicas dos depósitos que estão sendo avaliados. Para estes autores, os principais dados para análise de localização consistem em definições de mercados, produtos, redes, demanda dos clientes, preços de frete, custos fixos e variáveis.

3.4.1 Processo de Agregação de Dados

Os problemas de localização de depósitos apresentam um alto grau de complexidade, além de envolver um grande volume de dados. Devido ao extenso número de variáveis de decisão, o número de alternativas a serem analisadas é muito alto. Segundo Lacerda (2004), não é incomum um problema que apresente centenas de produtos, dezenas de fornecedores, centenas de potenciais locais para depósitos, múltiplos modais de transporte e milhares de clientes. O sistema de distribuição de uma indústria de bebidas, por exemplo, pode conter entre 10.000 e 120.000 clientes (Simchi-Levi *et al.*, 2000). Em grandes redes de supermercado, o número de produtos que circulam pela cadeia logística está na casa de milhares ou centenas de milhares.

Devido ao grande número de configurações de rede a serem avaliados para a solução de um problema prático de localização, Ballou (2001) sugere a utilização de técnicas de agregação de dados. O autor ressalta que a acurácia e o grau de detalhamento do método de

análise variam segundo a finalidade do estudo. Em uma análise macro, os dados são agregados de modo a limitar as localizações a áreas geográficas amplas, como cidades inteiras. Porém, em seleções finais de locais para a instalação de armazéns, são necessários métodos que usam poucos dados agregados, permitindo, por exemplo, a diferenciação de localizações pelas ruas da cidade.

A atribuição da demanda às áreas geográficas é um ponto essencial na análise de localização. Clientes e mercados são freqüentemente agregados por local e tipo, tamanho, freqüência dos pedidos, taxas de crescimento e serviços logísticos especiais, a fim de reduzir a complexidade do estudo, sem diminuir substancialmente sua precisão (Bowersox e Closs, 2001). As estruturas mais comuns para definição de mercado são: (i) por município; (ii) por zona estatística (definidas por órgãos governamentais de estatística); e (iii) pelos códigos de endereçamento postal (CEP).

De acordo com Simchi-Levi *et al.* (2000), antes de realizar a agregação de clientes em zonas de consumo, estes devem ser classificados segundo o nível de serviço requerido, a freqüência de entrega etc. Os autores sugerem que, em um estudo de localização de depósitos, os pontos de demanda devem ser agregados em, no máximo, duzentas zonas de mercado, de modo que as zonas tenham aproximadamente o mesmo volume de demanda, independentemente de seus tamanhos geográficos. Enfim, quanto maior o detalhamento dos mercados, maior é o grau de precisão e complexidade da rede.

Devem ser estudados, ainda, os volumes das cargas para cada área geográfica identificada como um mercado, de forma a definir a demanda dos clientes. Esta análise pode se basear em estatísticas históricas de cargas ou em estimativas independentes. A previsão da demanda futura deve considerar as eventuais variações do volume consumido. Segundo Ballou (2001), o tamanho do pedido e o tamanho resultante do embarque também influenciam o projeto da rede logística, uma vez que, se todos os clientes tivessem seus pedidos embarcados em quantidades completas de carga de caminhão, haveria pouco incentivo para armazenagem. Contudo, os pedidos de pequenos clientes exigem uma armazenagem extensiva de estoques.

Em geral, os itens com características de distribuição, locais de produção e canais de distribuição similares são agrupados em estudos de localização. Produtos semelhantes também costumam ser agregados em famílias. Os itens devem ser agregados em um número

razoável de grupos, de modo a não reduzir a exatidão da solução. Itens com padrões de distribuição semelhantes e que tenham características semelhantes devem ser, então, agrupados (Bowersox e Closs, 2001). Para Ballou (2001), é comum necessitar de cerca de 20 grupos de produtos para uma análise de rede. Simchi-Levi *et al.* (2001) sugere que processo de agregação de produtos deve ocorrer de forma existam, no máximo, de 20 a 50 famílias.

Outros dados indispensáveis para este tipo de análise são os fretes de suprimentos e de entregas de mercadorias, que devem ser estabelecidos para cada volume de carga e para cada modalidade de transporte entre centros de distribuição e mercados (Bowersox e Closs, 2001). Estes dados são normalmente obtidos através de técnicas de regressão ou são fornecidos por empresas transportadoras. As taxas de transporte costumam variar de forma linear com a distância, porém não com o volume transportado. Ballou (2001) ressalta que, entre os mesmos pontos de origem e destino, pode haver taxas de transporte diferentes devido ao peso do embarque. Para o autor, um tamanho de amostra de 30 a 50 pontos é geralmente adequado para a construção de uma curva estimativa de taxa de transporte. Ainda, os custos fixos e variáveis para operação da cadeia logística, analisados anteriormente, são indispensáveis para estudos de estratégia de localização.

Convém ressaltar que, mesmo em casos cuja rede logística pode ser analisada sem a agregação de dados, este procedimento deve ser considerado, uma vez que a agregação reduz a variabilidade e a incerteza da previsão da demanda.

3.4.2 Coleta de Dados

Para Ballou (2001), um dos problemas mais complicados em estudos de localização de depósitos é a falta de dados necessários para realizar a análise. Em geral, isto ocorre quando a análise envolve instalações que não são operadas pela companhia. Bowersox e Closs (2001) afirmam que a maior parte dos dados necessários para um estudo logístico pode ser obtida nos registros da própria empresa. Porém, muitas vezes é necessária uma trabalhosa investigação para coletá-los. Segundo Lacerda (2004), na maioria das empresas, estes dados não são estruturados, pois não existem sistemas de informação voltados para sua geração. De acordo com o autor, cerca de 2/3 do tempo de análises de localização são gastos na aquisição e preparação dos dados.

Após a identificação das fontes de dados, inicia-se o processo de coleta e tabulação de dados a serem utilizados na análise. Este processo deve ser documentado de forma a permitir a identificação de possíveis erros. Para Bowersox e Closs (2001), os erros mais comuns no processo de coleta de dados são: (i) a coleta de dados relativos a períodos não significativos; e (ii) a não-inclusão de dados que representam os principais componentes da atividade logística.

Ainda, a empresa deve buscar dados e fluxos de sistemas logísticos da concorrência, a fim de obter um *benchmarking* para a comparação de níveis de serviços, redes de distribuição e capacidade operacional. Essas informações podem ser levantadas em publicações ou em relatórios anuais das empresas concorrentes. Na próxima seção são abordadas as principais técnicas de análise, sugeridas na literatura, para solucionar o problema da localização de depósitos.

3.5 TÉCNICAS DE ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Após o procedimento de coleta, de tabulação e de verificação dos dados necessários para a análise da localização de depósitos, devem ser aplicados os modelos para localização ou otimização da rede.

Os problemas envolvendo a localização de facilidades podem ser categorizados de diversas formas, dentre as quais se destaca a classificação com relação ao conjunto de pontos elegíveis para a localização de depósitos. Boffey (1984) salienta que estes pontos estão limitados a um conjunto F que pode ser discreto ou contínuo. Quando o conjunto F é discreto, os possíveis pontos de localização podem ser representados pelos vértices de uma rede. Trata-se dos modelos de localização discreta que restringem a sua análise a um conjunto finito de pontos previamente selecionados através de estudos preliminares. Por sua vez, os modelos de localização no plano consideram qualquer ponto no plano como um potencial candidato para a localização (conjunto infinito). Novaes e Neto (1995) ressaltam a existência de uma terceira classe de problemas. São os problemas de localização no plano com espaço de soluções finito. Nesta categoria, o espaço de soluções é limitado e as facilidades só podem ser localizadas em pontos previamente escolhidos.

A seguir são apresentadas as principais técnicas de programação matemática empregadas para os problemas de localização no plano. São expostas também as técnicas

aplicadas para a solução de problemas discretos. Estas podem ser subdivididas em dois grandes grupos: (i) técnicas matemáticas de otimização; e (ii) técnicas de simulação.

3.5.1 Técnicas de Solução para os Problemas de Localização no Plano

As principais técnicas de programação matemática empregadas para os problemas de localização no plano compreendem os métodos que identificam o centro de gravidade de uma rede logística, podendo esse ser o centro de peso, de distância, o centro combinado de peso-distância ou ainda um centro combinado de peso-tempo-distância (Bowersox e Closs, 2001).

3.5.1.1 *Modelos de Localização no Plano Aplicados a uma Única Instalação- Modelos Gravitacionais*

Os modelos gravitacionais consideram a localização de um único depósito que recebe matéria-prima dos fornecedores e envia produtos acabados aos mercados. Através deste método, determina-se a posição ideal para o centro de distribuição, com base na distância, no peso ou na combinação de ambos. Assume-se que o centro de gravidade representa a localização de menor custo.

O modelo gravitacional considera os mercados e as fontes de suprimentos como pontos em um plano. Assim, todas as localizações de demanda devem ser marcadas e identificadas no plano de coordenadas (Bowersox e Closs, 2001). Para Leal (1995), os modelos de análise incluídos nesta categoria adotam algumas hipóteses comuns, que, em algumas situações, podem determinar um afastamento excessivo da realidade, levando à invalidação do modelo de análise considerado. As principais hipóteses são: (i) qualquer ponto no plano é elegível para a localização de um depósito; (ii) um plano é uma aproximação satisfatória de uma superfície esférica; (iii) o cálculo das distâncias em linha reta é uma aproximação satisfatória do percurso viário; (iv) o tempo e o custo associados ao percurso entre dois pontos é proporcional à distância deste percurso; e (v) os custos de instalação e operação dos depósitos e os custos de transportes são homogêneos para a região estudada.

Segundo Chopra e Meindl (2003), os dados básicos para o modelo são:

- x_n, y_n : Localização de coordenada de um mercado ou fonte de suprimentos n ;

- d_n : Distância em km entre a instalação no local (x,y) e a fonte de suprimento n;
- F_n : Tonelagem anual a ser enviada entre a instalação e cada local de demanda n ;
- C_n : Custo de embarque de uma unidade por quilômetro entre a instalação e o mercado ou fonte de suprimentos n;
- k: Número de fontes de suprimento ou de mercados;

O custo total de transporte (CT) é representado pela fórmula:

$$CT = \sum_{n=1}^k d_n C_n F_n \quad (1)$$

Alfred Weber foi o autor do primeiro trabalho que trata da localização no plano, publicado em 1909. Apesar de ser simples, o método considerado por Weber trouxe importantes contribuições.

a) Modelo Gravitacional baseado no peso

Em 1934, Keefer descreveu o modelo gravitacional baseado no peso para o problema de localização de um único depósito. A solução para este modelo é encontrada através da seguinte formulação:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (2)$$

A localização final indica o ponto em que há um equilíbrio de peso entre os destinos, para determinado período de tempo (Bowersox e Closs, 2001).

b) Modelo Gravitacional baseado na distância

Obtém-se a localização do ponto onde o custo total é mínimo através da iteração dos três passos a seguir, onde (x, y) é a posição inicial de cada iteração:

1. Para cada fonte de suprimentos ou mercado n, calculam-se as distâncias d_n como a distância geométrica entre dois pontos do plano:

$$d_n = \sqrt{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2} \quad (3)$$

2. Obtém-se então uma nova localidade (x' , y') para a instalação, onde:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad y' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad (4)$$

3. O problema da localização é resolvido quando as alterações incrementais entre (x' , y') e (x , y) se situam numa tolerância aceitável. Assim, este será o ponto de custo mínimo. Caso contrário, deve-se determinar que (x , y) = (x' , y') e retornar a etapa 1.

Geralmente, é considerada aceitável uma tolerância de 1 km nas coordenadas x e y . Desta forma, são corretas soluções em uma área de 4 km². A solução baseada em distância é determinada pelo ponto geográfico que representa a menor distância combinada para todos os centros de demanda. Segundo Bowersox e Closs (2001), a hipótese considerada é de que todos os custos logísticos são apenas uma função de distância. Assim, a deficiência desta solução é a omissão de considerações de peso e de tempo.

c) Modelo Gravitacional baseado em peso e distância

Este modelo considera os custos logísticos como uma função do peso e da distância, de modo que combina as variáveis de peso e distância para a escolha da localização do depósito. A solução deste método também requer um processo iterativo cuja formulação é:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i F_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{d_i}} \quad y' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i F_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{d_i}} \quad (5)$$

d) Modelo Gravitacional baseado no tempo, peso e distância

Este método assume que os custos logísticos são uma função de tempo, peso e distância, de modo que a solução definida por essa avaliação tende a ser a melhor do ponto de vista de custos (Bowersox e Closs, 2001). O procedimento para a definição da localização do depósito por este método também é iterativo. A formulação é:

$$x' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i F_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{M_i}} \quad y' = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{y_i F_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{F_i}{M_i}} \quad (6)$$

Onde: M_i = Pontos de entrega representados em km/min, medidos a partir da localização inicial do centro de distribuição e seqüencialmente alterados a cada iteração.

Segundo Bowersox e Closs (2001), o valor de M_i inclui a distância e o tempo para todos os pontos de demanda, a partir da localização do centro de distribuição, para cada iteração. As estimativas de tempo, em minutos, para cada ponto de demanda devem considerar a distância, o tipo de estrada e o volume de tráfego. Os autores afirmam que estas estimativas devem ser feitas, para cada alternativa de localização, através de estudos de engenharia de tempos e movimentos.

e) Modelo Gravitacional baseado no custo de transporte em cada região

O método sugerido por Mossman e Morton (1965) considera o centro de gravidade ponderado pelos diferentes custos de transporte vigentes em cada região, de modo que a localização é determinada pela seguinte fórmula:

$$x_o = \frac{\sum w_j r_j x_j}{\sum w_j r_j} \quad (7)$$

Onde r_j representa o custo de transporte por unidade de volume e distância a partir do cliente j ; w_j é a demanda do cliente j e x_j a sua respectiva coordenada espacial.

3.5.1.2 Modelo de Localização no Plano Aplicado a Múltiplas Instalações

Este é um método iterativo, sugerido por Miehle (1958) e Westner & Kantner (1958), que pode ser aplicado para decisões de localizações de m depósitos. Segundo Leal (1995), a metodologia baseia-se na minimização da função objetivo de custo total:

$$CT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m t_1 v_{1ij} d_{1ij} + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m t_2 v_{2ij} d_{2ij} \quad (8)$$

Onde: k: número de fábricas;

m: número de depósitos;

n: número de clientes;

t_1 : custo de transporte por unidade de volume e distância entre fábricas e depósitos;

t_2 : custo de transporte por unidade de volume e distância entre depósitos e clientes;

v_{1ij} : volume total de produtos transportados entre a fábrica i e o depósito j;

v_{2ij} : volume total de produtos transportados entre o depósito i e o cliente j;

d_{1ij} : distância entre a fábrica i e o depósito j : $\sqrt{[(fx_i - x_j)^2 + (fy_i - y_j)^2]}$; e (9)

d_{2ij} : distância entre o depósito i e o cliente j: $\sqrt{[(x_i - cx_j)^2 + (y_i - cy_j)^2]}$; (10)

Para a minimização da função objetivo, deriva-se parcialmente a equação acima em relação à x_i e y_j (as coordenadas do depósito) e igualam-se estas expressões a zero. Resolvendo estas equações para x_i e y_j , são obtidas as formulações utilizadas para a determinação da localização ótima de depósitos:

$$x_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{t_1 v_{1ij} f x_j}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{t_2 v_{2ij} c x_j}{d_{2ij}} \right) \right]}{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{t_1 v_{1ij}}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{t_2 v_{2ij}}{d_{2ij}} \right) \right]} \quad (11)$$

$$y_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{t_1 v_{1ij} f y_j}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{t_2 v_{2ij} c y_j}{d_{2ij}} \right) \right]}{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{t_1 v_{1ij}}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{t_2 v_{2ij}}{d_{2ij}} \right) \right]} \quad (12)$$

Utiliza-se, então, o método iterativo para o cálculo das coordenadas da nova localização para os diversos depósitos. Em cada iteração, as coordenadas (x_i, y_i) são avaliadas, substituindo-se, no lado direito das fórmulas 11 e 12, os valores destas mesmas variáveis obtidas na iteração anterior. Após sucessivas iterações, o método converge para um ponto de mínimo.

Eilton, Watson-Gandy e Christofides (1971, apud Leal, 1995) basearam-se na metodologia de Miehle (1958) e Westner & Kanter (1958) para desenvolver um modelo que incorpora, além dos custos de transporte, os custos de operação dos depósitos não lineares e descontínuos.

3.5.2 Técnicas de Solução para Modelos de Localização Discreta

Simchi-Levi et al. (2000) classificam as técnicas aplicadas para a solução de problemas discretos em dois grandes grupos: (i) técnicas matemáticas de otimização; e (ii) heurísticas; e (iii) técnicas de simulação.

3.5.2.1 *Técnicas Matemáticas de Otimização*

A modelagem matemática é composta por técnicas e algoritmos que se destinam a estruturar e a solucionar os modelos quantitativos que podem ser expressos matematicamente. Neste caso, são analisados os modelos de localização discreta. Para que estes modelos sejam expressos matematicamente, deve-se realizar uma série de premissas simplificadoras na definição do problema. É essencial que estas premissas sejam adequadas ao sistema. Caso contrário, as soluções encontradas poderão ser matematicamente ótimas, porém não representarão a realidade das operações.

Nos últimos 20 anos, o problema de localização de depósitos em um conjunto discreto de pontos vem despertando enorme interesse de pesquisadores, constituindo-se no foco principal de inúmeros trabalhos na área de pesquisa operacional. Estas técnicas incluem a programação linear, programação inteira, programações de metas, métodos de árvore de decisão, programação dinâmica, entre outras. O método mais promissor desta classe é a abordagem da programação linear inteira, que é a metodologia mais comum usada em

modelos de localização comerciais. A seguir os principais métodos são abordados de forma detalhada.

a) Programação Linear

Para que um problema seja solucionado com auxílio da programação linear, é essencial que haja duas ou mais instalações competindo por recursos limitados. Ainda, todas as relações pertinentes à estrutura do problema devem ser determinísticas e possíveis de serem representadas por relações lineares (Bowersox e Closs, 2001). Uma das abordagens mais diretas da otimização da rede é o método do transporte, cujo objetivo é dirigido à minimização dos custos de transportes em face de restrições de suprimentos nas localizações de origem e de exigências específicas da demanda. Neste método, considera-se uma matriz que correlaciona os locais de demanda e de suprimentos, sendo a solução limitada pela lista original de instalações existentes (Ballou, 2001). Porém, um grande avanço na determinação da localização foi alcançado a partir da utilização de novas formas de modelagem, como a programação linear inteira, programação dinâmica e programação estocástica, que tornaram possível um maior relaxamento das pressuposições envolvidas no modelo tradicional de transportes (Lopes e Caixeta Filho, 2000). Para a determinação da localização de centros de distribuição, a programação linear não é a ferramenta mais apropriada, uma vez que considera apenas variáveis contínuas. A decisão de abrir ou não um depósito em determinado local requer a utilização da programação linear inteira, que será tratada a seguir.

b) Programação Linear Inteira-Mista

Ballou (2001) afirma que a programação linear inteira-mista é a metodologia mais comum usada em modelos de localizações comerciais. Para Bowersox e Closs (2001), a grande vantagem da programação inteira é permitir que sejam incluídos na análise os custos fixos, bem como diferentes níveis de custos variáveis para as instalações. De acordo com Simchi-Levi *et al.* (2000), os modelos baseados na programação linear inteira mista têm solução mais complexa em relação àqueles que utilizam a programação linear.

Busca-se, através da programação linear inteira mista, alocar a demanda de mercados diferentes em diversos depósitos de modo a minimizar o custo total de instalações, transporte e estoque (Chopra e Meindl, 2003). Segundo Leal (1995), deseja-se instalar depósitos de forma a minimizar o custo total do sistema. Existem n pontos elegíveis para a localização de

depósitos e m clientes que devem ser atendidos pelos mesmos. Devido às restrições econômicas, o número de depósitos a serem instalados deve ser superior a N_{\min} e inferior a N_{\max} . Cada depósito possui uma capacidade máxima q_j e cada cliente tem uma demanda r_i , que deve ser integralmente atendida. Utiliza-se, então, uma variável *dummy* (0 ou 1) para representar a decisão de instalar um depósito em cada um dos n pontos possíveis:

$$y_j = \begin{cases} 1, & \text{se o ponto } j \text{ for selecionado para a instalação de um depósito;} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

e uma variável contínua x_{ij} que representa o percentual da demanda do cliente i que foi atendida pelo depósito j .

Associa-se um custo fixo de instalação de depósito (f_j) a cada um dos n pontos, que representa o custo de aquisição, aluguel ou construção do depósito e os custos fixos de operação. O custo de transporte de produtos entre o depósito e o cliente, os custos variáveis de operação e suprimentos do depósito (inclusive o custo de transporte de produtos entre os pontos de suprimentos primários e os depósitos) são representados pelo custo variável de suprimentos (c_{ij}). Pode-se, então, formalizar o problema de localização de depósitos através da função-objetivo e do conjunto de restrições a seguir:

$$\text{Função Objetivo: Min. } \sum_{j=1}^n \left[f_j y_j + \sum_{i=1}^m c_{ij} x_{ij} \right] \quad (13)$$

Tal que:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, m. \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} r_i \leq q_j \quad j=1, \dots, n. \quad (15)$$

$$y_j - x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (16)$$

$$N_{\min} \leq \sum_{j=1}^n y_j \leq N_{\max} \quad (17)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad j=1, \dots, n. \quad (18)$$

A equação (14) garante que a demanda de todos os clientes será integralmente atendida; a equação (15) garante que nenhum depósito ultrapassará a sua capacidade máxima; a equação (16) assegura que o suprimento dos clientes será realizado apenas pelos depósitos selecionados; e a equação (17) determina que o número de depósitos instalados está limitado ao intervalo (N_{\min}, N_{\max}) .

Com a aplicação de decomposição às técnicas de resolução de programação linear inteira mista, é possível a inclusão de múltiplas *commodities* no projeto do sistema logístico. De acordo com Leal (1995), caso seja acrescido um índice às variáveis de decisão e parâmetros de capacidade e demanda, a formulação pode ser estendida a problemas de localização com multi-produtos, onde cada depósito poderá atender a demanda de m clientes por p produtos. Assim, a função-objetivo seria representada pela seguinte equação:

$$\sum_{k=1}^p \sum_{j=1}^n \left[f_{jk} y_{jk} + \sum_{i=1}^m c_{ijk} x_{ijk} \right] \quad (19)$$

onde: k : índice de produtos;

f_{jk} - custo fixo associado à instalação/operação de um depósito que trabalha com o produto k no local j ;

c_{ijk} - custo variável associado à transferência do produto k do depósito j para o cliente i ;

y_{jk} - decisão de instalar um depósito no local j que trabalha com o produto k ;

x_{ijk} - percentual da demanda do cliente i pelo produto k atendida a partir do depósito j .

As restrições para o problema também devem ser modificadas de forma análoga, e serão apresentadas no capítulo 4 deste trabalho. A solução destes problemas depende de aplicação de técnicas de decomposição, que proporcionam um procedimento que separa várias *commodities* numa série de problemas individuais de *commodities*. Segundo Ballou (2001), esta ferramenta baseia-se na decomposição de um problema de multiprodutos em “tantos subproblemas quanto subprodutos houver, eliminando partes irrelevantes da solução e aproximando dados relacionados nas formas que complementam a abordagem da solução, a fim de alcançar tempos de processamento aceitáveis e necessidades de memória.” De acordo

com Bowersox e Closs (2001), “o procedimento para a determinação da alocação de *commodities* segue um processo iterativo, no qual os custos associados a cada *commodity* são testados para atingir convergência, até ser isolado o menor custo ou identificada a melhor solução.”

A formulação citada anteriormente também pode ser utilizada como ferramenta para análise de modelos dinâmicos. Neste caso, o índice k representaria períodos ao invés de produtos. Leal (1995) ressalta que a única modificação seria a exclusão do índice k de f_{jk} e y_{jk} , uma vez que os depósitos serão instalados em caráter definitivo para o horizonte da análise. Ballou (1968) apresenta um método simplificado para o tratamento do problema dinâmico: (i) estimam-se os principais parâmetros para cada período; (ii) calcula-se a média de cada parâmetro, ponderada pelo grau de confiabilidade da estimativa; e (iii) aplica-se um modelo de localização estático. A solução encontrada será então uma estimativa satisfatória do ponto ótimo.

Para Bowersox e Closs (2001), a principal vantagem desta técnica é a possibilidade de incorporação de custos fixos para a consideração de custos de operação de depósitos próprios. Os autores reforçam que esta abordagem permite acomodar as restrições encontradas quotidianamente em operações logísticas. Dentre as desvantagens citadas pelos autores, enquadra-se a dimensão dos problemas que podem ser resolvidos. Esta questão é importante em sistemas de distribuição de multiestágios, que incluem fornecedores, locais de produção, centros de distribuição, atacadistas e clientes. Os avanços obtidos com algoritmos de solução e a velocidade dos computadores possibilitaram um aumento substancial da capacidade de otimização de redes. Contudo, para se realizar uma análise completa de todo canal de distribuição, a dimensão dos problemas ainda é uma séria restrição.

c) **Abordagem P-mediana**

Um outro método de localização que utiliza a programação linear inteira combinada é a abordagem P-mediana. Este problema consiste em localizar p instalações idênticas em uma região, após a pré-seleção de m possíveis localizações, sendo $m \geq p$. Busca-se, através desta metodologia, minimizar o somatório da distância ponderada entre cada depósito e os clientes. Assim, cada um dos n clientes será atendido pelo depósito mais próximo.

Segundo Bramel e Simchi-Levi (1997), a capacidade do depósito, na abordagem p-mediana, é infinita e o custo fixo para sua instalação em uma localização determinada é nulo. Esta suposição indica que o custo fixo para a instalação de um depósito é independente de sua localização. Assim, assumindo que w_i seja a demanda do cliente i e que o custo de transportar w_i unidades do produto do depósito ao cliente é c_{ij} , pode-se representar o problema através da seguinte formulação matemática:

$$\text{Função Objetivo: Min. } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (20)$$

Onde:

$$x_{ij} \begin{cases} 1, \text{ se o cliente } i \text{ tem sua demanda suprida pelo depósito } j; \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

$$y_j = \begin{cases} 1, \text{ se existe um depósito no ponto } j; \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases}$$

Tal que:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1 \quad i=1, \dots, m. \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^m y_j = p \quad j=1, \dots, m. \quad (22)$$

$$y_j - x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (23)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0,1\}, \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, m. \quad (24)$$

A equação (21) garante cada cliente tem sua demanda atendida por um único depósito; a equação (22) assegura que serão instalados p depósitos; a equação (23) garante

que o suprimento dos clientes será realizado apenas pelos depósitos selecionados; e a equação (24) determina que estas variáveis são inteiras.

Bramel e Simchi-Levi (1997) sugerem que a melhor técnica para a resolução deste problema é a o método de relaxação de Lagrange. Os autores afirmam que este problema foi analisado por Kuehn e Hamburger (1963), por Hakimi (1964), Manne (1964), Balinski (1965) e outros.

d) Localização Dinâmica de Depósitos

Os padrões de demanda e de custo variam ao longo do tempo, de modo que a solução de um modelo de localização baseada em dados atuais pode não representar a configuração ótima ao longo do tempo (Ballou, 2001). Não é suficiente, então, encontrar a melhor configuração em cada um dos anos por todo o horizonte de planejamento. Como o custo de alteração da configuração da cadeia logística é alto, deve-se buscar a melhor configuração ao longo do tempo. Além da simulação dinâmica, outras técnicas podem ser empregadas para facilitar a análise de localização de depósitos sob o ponto de vista dinâmico.

Podem-se encontrar as melhores localizações utilizando-se as circunstâncias atuais e as previsões para o futuro e, então, ponderam-se as soluções encontradas. Outra possibilidade é determinar a melhor configuração da rede atual e, em cada ano, analisar a cadeia com os dados disponíveis. Caso seja encontrada uma melhor configuração, deve-se verificar se a economia de localização entre a nova configuração e a anterior é maior do que os custos associados com a mudança. Neste caso, a mudança deve ser considerada. Para Ballou (2001), este método é vantajoso por trabalhar sempre com dados reais.

O procedimento de programação dinâmica também pode ser empregado para encontrar a configuração ótima ao longo do tempo, mostrando precisamente quando uma mudança para a nova configuração é necessária (Ballou, 2001).

3.5.2.2 Heurísticas

Os modelos devem ser implementáveis. Contudo, há um número significativo de situações em que o modelo acaba se afastando do ideal pretendido para a otimização, por se tornar muito complexo ou pelo estado da arte não dispor das técnicas exatas necessárias

(Goldberg e Luna, 2005). Nesse caso, os modelos poderão ser selecionados por técnicas não necessariamente exatas denominadas de heurísticas.

De acordo com Ballou (2001), os métodos heurísticos têm sido populares como metodologia para a localização de depósitos. Trata-se de um conjunto de regras que permitem que boas soluções sejam obtidas rapidamente entre numerosas alternativas. Tais regras baseiam-se no discernimento sobre o processo de solução. Esta ferramenta determina estratégias que poderão levar uma redução significativa do custo total do sistema, contudo não é capaz de assegurar a determinação do mínimo custo logístico. Segundo Simchi-Levi *et al.* (2000), esta técnica é utilizada tipicamente para casos que apresentem uma cadeia logística complexa.

Hinkle e Kuehn (1967) definem a heurística como um processo análogo ao de tentativa e erro humano para pesquisar soluções aceitáveis para problemas nos quais os algoritmos de otimização não estão disponíveis. Ballou (1989) cita uma série de exemplos de regras heurísticas, que podem ser programadas em um modelo de modo a permitir a busca por uma solução que siga esta lógica:

- Os locais mais prováveis para a instalação de depósitos são situados próximos a centros de maior demanda;
- Clientes que comprem em quantidade suficiente para completar um veículo devem ser atendidos diretamente dos pontos de suprimentos e fábricas;
- Um produto deve ser armazenado apenas se houver uma economia nos custos de transporte que justifique os custos de armazenagem;
- Produtos com menor variabilidade em seus padrões de demanda e tempos de entrega devem ser gerenciados pelo processo *just-in-time*, ao invés do controle estatístico de estoque;
- O próximo armazém a ser adicionado ao sistema de distribuição deve ser aquele que demonstra maior economia de custos;
- Os clientes mais dispendiosos, sob o ponto de vista de distribuição, situam-se no final das rotas de transporte e demandam pequenas quantidades; e

- Através da consolidação de cargas de pequenos volumes em cargas completas de veículos começando do cliente mais remoto na rede de distribuição e combinando as cargas junto com a linha para o transporte dos pontos de origem, atinge-se a carga econômica de transporte.

Em geral, o desenvolvimento de procedimentos heurísticos para problemas reais inclui a programação linear inteira mista como parte da metodologia da solução. Como já foi visto anteriormente, a programação linear inteira possibilita a abrangência de restrições de capacidade que muitas outras abordagens não permitem. Contudo, são procedimentos muito robustos que requerem a aplicação de decomposições, relaxamentos ou métodos heurísticos para “guiar a programação linear a fim de apresentar o desempenho” desejado (Ballou, 2001).

3.5.2.3 *Técnicas de Simulação*

Robert Shannon define simulação como “o processo de projetar um modelo de um sistema real e desenvolver experiências com este modelo a fim de compreender o comportamento do sistema ou de avaliar estratégias dentro dos limites impostos por um critério, ou vários critérios, para operação de um sistema (Shannon, Robert, 1975, apud Bowersox e Closs, 2001)”.

Para Ballou (2001), “um modelo de simulação de localização de instalações refere-se a uma representação matemática de um sistema logístico por lógica e demonstrações algébricas que podem ser manipuladas com a ajuda de um computador.” Segundo o autor, o modelo de simulação tenta descobrir a melhor rede através de aplicações repetidas para as configurações de localizações de depósitos que se deseja avaliar. Ao contrário das técnicas de otimização, a qualidade dos resultados obtidos através da simulação varia com a facilidade do usuário em selecionar as instalações a serem analisadas. Porém, os custos entre alternativas classificadas por proximidade mudam pouco na região do máximo.

As técnicas de simulação podem ser estáticas ou dinâmicas. A simulação estática avalia os fluxos de produtos como se todos ocorressem num único ponto durante todo o período avaliado (Bowersox e Closs, 2001). Por sua vez, a simulação dinâmica considera as mudanças ao longo do tempo, sendo capaz de caracterizar a performance do sistema para uma

dada cadeia logística e de analisar uma série de alternativas. Assim, a principal diferença entre a simulação estática e a dinâmica é o tratamento dos eventos no tempo.

Segundo Bowersox e Closs (2001), o uso da simulação estática envolve a utilização de procedimentos heurísticos para selecionar as instalações de depósitos. A partir de uma lista de possíveis instalações, a simulação estática identifica, por um processo iterativo, a rede de distribuição de menor custo. A princípio, os pontos de demanda são designados ao melhor depósito com base no menor custo logístico total. Em seguida, são eliminadas as localizações, uma a uma, partindo da quantidade máxima de localizações potenciais até atingir a uma quantidade mínima especificada. O depósito de maior custo é eliminado, de forma que sua demanda é atribuída ao depósito remanescente de menor custo. Assim, a simulação estática identifica a melhor solução através da comparação direta de custos e características dos níveis de serviços das redes alternativas, não havendo garantias de que a localização selecionada para o depósito é realmente a que minimiza os custos logísticos totais. Deve-se ressaltar que, uma vez eliminada a localização de um depósito no processo de análise, esta não será mais considerada nos próximos passos da simulação. Para os autores, esta é uma das principais desvantagens da simulação estática.

Ballou (2001) apresenta um fluxograma para uma simulação de localização de armazém, ilustrado na figura 12. Cabe ressaltar que no programa de pré-processamento devem ser separados os clientes cujo fornecimento pode ser preenchido de um armazém daqueles pedidos que fossem grandes o suficiente para serem economicamente preenchidos de uma planta.

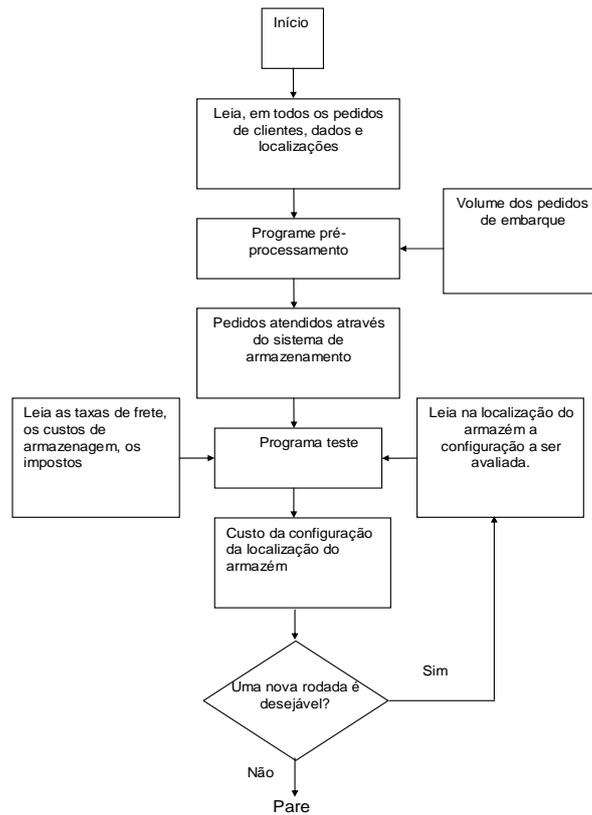


Figura 12 Fluxograma para Simulação de Localização de depósitos

Fonte: Ballou (2001 p. 393)

Uma das principais vantagens da simulação estática é a simplicidade de seus procedimentos e a flexibilidade superior à maioria das técnicas de otimização. De acordo com Simchi-Levi *et al.* (2000), os modelos de simulação representam apenas uma cadeia determinada. Caso seja necessário analisar uma nova configuração da cadeia, deve-se rodar um outro modelo. A simulação não é uma ferramenta de otimização, porém é uma técnica útil para a determinação da performance de uma rede logística particular.

De acordo com o nível de detalhamento de representação da cadeia logística, as técnicas de simulação podem requerer grandes intervalos de tempo de processamento para atingir o nível de acurácia e detalhamentos desejados. Assim, são poucas as alternativas em que esta ferramenta deve ser utilizada (Simchi-Levi *et al.*, 2000). Ballou (2001) indica a simulação como método de escolha quando há elementos estocásticos no problema ou quando a descrição complexa do problema é essencial.

O autor afirma que esta é a segunda técnica quantitativa mais usada para análise de localização, além de citar uma série de exemplos onde esta metodologia foi adotada. Em 1960, Shycon utilizou a técnica de simulação para uma análise de localização de armazéns. A Andersen Consulting (atual Accenture) também utilizou a técnica para analisar o fluxo de produtos em uma cadeia logística, considerando as questões relativas a níveis de estoques, volume de produção e tempo de fluxos no canal. “Power e Closs investigaram os efeitos dos incentivos comerciais sobre o desempenho logístico usando a simulação (Powers e Closs, 1987 apud Ballou, 2001)”.

3.5.2.4 *Comparação entre as Diferentes Técnicas de Solução para Modelos de Localização Discreta*

Embora possa parecer que as técnicas matemáticas de otimização sejam sempre melhores, é importante ressaltar que, para representar o problema de localização real em um modelo, devem ser feitas suposições e simplificações, de modo que a descrição do modelo não representa fidedignamente o problema real. Assim, a solução encontrada para o modelo pode não ser a melhor solução para o problema real. Ainda, de acordo com Ballou (2001), os modelos de otimização são difíceis de entender e “requerem habilidades técnicas que muitos administradores não possuem.” Desta forma, administradores que priorizam a descrição acurada do problema optam por técnicas de simulação para o estudo de localização.

Em relação às soluções heurísticas, as técnicas matemáticas de otimização podem apresentar significativas economias de custo ou lucro. Para Lacerda (2004), em análises de localização de depósitos, devem-se utilizar preferencialmente os algoritmos de programação inteira mista, pois permitem uma avaliação rigorosa de alternativas operacionais. Contudo, deve-se ressaltar que a programação linear inteira mista requer procedimentos muito robustos. Por isto, muitas vezes requerem a aplicação de decomposições, relaxamentos ou métodos heurísticos para “guiar a programação linear a fim de apresentar o desempenho” desejado (Ballou, 2001).

Segundo Simchi-Levi et al. (2000), para casos em que a dinâmica do sistema não é fundamental e que um modelo estático é apropriado, devem ser utilizadas técnicas de otimização para modelar a cadeia logística. Os autores afirmam que, para quase todos os problemas de localização de depósitos, a programação linear inteira é a ferramenta mais

indicada e utilizada para a análise. Em casos em que a dinâmica do sistema seja relevante, Hax e Candea sugerem uma análise de dois estágios, que se tenta aproveitar as vantagens da simulação e da otimização. A princípio, utiliza-se um modelo de otimização para gerar um número de soluções com mínimo custo, em um nível de análise macro, considerando os principais componentes do custo logístico. Em seguida, utiliza-se um modelo de simulação para avaliar as soluções geradas na primeira etapa, em uma análise micro.

3.5.3 Críticas aos Modelos de Localização de Depósitos

Apesar das vantagens supracitadas sobre a utilização de modelos de localização de depósitos como ferramenta de auxílio na tomada de decisões estratégicas sobre estrutura de redes logísticas, existem autores que criticam esta metodologia. Harmon (1993) acredita que os resultados encontrados através de metodologias quantitativas nem sempre representam a melhor solução para o problema real, uma vez que os fatores, previsões e suposições adotadas nestas análises nem sempre representam as situações reais com precisão. Para o autor, as considerações de marketing na estratégia de localização de depósitos têm maior relevância que os fatores logísticos. Contudo, o autor salienta que estas decisões devem ser tomadas com moderação e cuidado, de modo que haja equilíbrio entre novas oportunidades de marketing e as medidas logísticas de redução de custos.

Atkinson (2004) também defende que o processo de localização de centro de distribuições é relativamente simples, devendo considerar poucos fatores básicos como: transporte, custos de instalação, disponibilidade de mão de obra e mercado. Em suma, o autor afirma que as melhores localizações são aquelas com melhor infra-estrutura de transportes.

Segundo Harmon (1993), um novo depósito deve ser localizado próximo às instalações com maior taxa de produção, de modo a facilitar a comunicação e a cooperação entre o centro de distribuição e os fornecedores. O autor afirma que a instalação de novos depósitos deve proporcionar um melhor atendimento à base de clientes atuais ou auxiliar na conquista de novos mercados. Caso a estratégia adotada seja de proteger o *market share*, Harmon sugere a instalação de um novo depósito nas regiões de maior volume de vendas. No entanto, se o objetivo for a penetração em novos mercados, o novo centro de instalação deve ser localizado em uma área de baixo volume de vendas, mas com grandes populações, onde haja concentração de potenciais clientes.

Harmon (1993) ressalta que depósitos devem ser instalados em regiões onde a demanda seja igual ou superior a uma carga completa de caminhão (ou que o lote econômico de distribuição) por dia. Assim, maximiza-se o serviço ao cliente, sendo possível a reposição diária de um item que não esteja disponível em estoque. A instalação de um novo depósito deve proporcionar a redução do estoque de segurança e de inventários. Outra regra empírica, sugerida pelo autor, de que só seja instalado um novo depósito caso a equipe necessária seja de no mínimo 3 ou 4 pessoas. O autor acredita que, através destas regras e da análise de *benchmarking* em cadeias logísticas de outras empresas do setor, não é necessária a realização de um estudo de localização de depósitos.

Apesar de serem válidas as considerações abordadas por Harmon (1993), são incontestáveis os benefícios trazidos pela análise estratégica das redes logísticas. Encontram-se, na bibliografia relevante, diversos exemplos que suportam esta teoria (Ambrosino; Scutellà, 2003, Espejo *et al.*, 2001, Klose; Drexler, 2005; Melo *et al.*, 2004, Syam, 2000). De fato, os modelos são uma simplificação da realidade, de modo que seus resultados não representam a realidade com extrema precisão e detalhamento. Porém, estes são excelentes ferramentas de apoio à decisão, que tendem a indicar, dentro de certa tolerância, a melhor solução a ser adotada.

3.5.4 Aplicações Comerciais

Existem no mercado diversos sistemas de *softwares* dedicados à estratégia de localização de depósitos. Ballou & Masters (1993) apresentaram uma pesquisa sobre os principais sistemas disponíveis no mercado. Os autores observaram que a maior parcela dos sistemas avaliados tem como função-objetivo a minimização dos custos e utilizam técnicas de programação linear inteira. São poucos os sistemas que tratam da maximização de lucro e as restrições em relação ao nível de serviços não são consideradas de forma satisfatória.

Segundo Lacerda (2004), a oferta de ferramentas computacionais aplicadas ao problema de localização no Brasil ainda é limitada. Porém, já estão presentes no mercado os representantes das principais empresas fornecedoras de *softwares* nesta área. Os preços variam na faixa de US\$ 10.000 a US\$ 150.000, conforme a versão, capacidade do sistema e, principalmente, devido à inclusão ou não de consultoria para a realização do estudo de localização, do treinamento para a operação do sistema ou de suporte pós-venda. O autor

salienta que a principal diferença entre os programas está na capacidade de representar os custos e restrições operacionais envolvidos. Em geral, os custos de estoque, que estão relacionados à dimensão temporal, não são bem tratados pelos *softwares* de localização, que são mais voltados para a dimensão geográfica.

Lacerda (2004) observa que, em sua maioria, os *softwares* de localização utilizam interface gráfica, sendo possível a visualização dos resultados através de mapas e relatórios. Ainda, estes oferecem capacidade de comunicação com sistemas de bases de dados, o que facilita o manuseio e preparação dos dados. O autor salienta que os programas computacionais devem permitir a modelagem de características específicas de cada sistema sob análise. Segundo Lacerda (2004), alguns *softwares* têm modelos prontos, não permitindo adaptações, enquanto outros são totalmente abertos, permitindo qualquer tipo de modelagem. Para ele, os *softwares* devem permitir realizações de análises de cenários e análises paramétricas, de forma rápida e fácil.

De acordo com Simchi-Levi *et al.* (2000), um programa de localização de depósitos deve incorporar níveis de serviço específicos para grupos de clientes distintos, fluxos de produtos específicos e o fluxo entre depósitos. Também deve ser possível incorporar os depósitos já existentes na cadeia logística, além de permitir a expansão de sua capacidade. O autor ressalta que os resultados encontrados devem ser eficientes e que o tempo de processamento do programa deve ser razoável.

3.6 PROCESSO DE VALIDAÇÃO DOS MODELOS DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Os modelos devem ser devidamente validados para verificar se os resultados correspondem satisfatoriamente à realidade. Segundo Bowersox e Closs (2001), o objetivo da validação é aumentar a credibilidade da gerência no processo de análise. Em geral, o processo de validação de um modelo se baseia na reconstrução da configuração atual da rede logística, de modo que seja possível a comparação entre o resultado da análise e os dados reais coletados. Trata-se da melhor forma de identificação de eventuais erros na tabulação de dados, nas simplificações adotadas ou no *design* do fluxo da cadeia (Simchi-Levi *et al.*, 2000).

4 SISTEMÁTICA PARA A LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Neste capítulo será apresentada uma sistemática de análise para o problema da localização de depósitos. A princípio serão enumerados os principais passos a serem tomados pelos gerentes de logística quando enfrentam este desafio. Em seguida, serão propostos dois modelos, baseados em técnicas matemáticas distintas. Será realizada a descrição de cada modelo, suas variáveis de entrada, restrições consideradas e as soluções oferecidas, além de serem apresentados os recursos de informática utilizados e os procedimentos de programação.

4.1 PRINCIPAIS ETAPAS NO PROCESSO DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

A seguir procura-se apresentar, de forma simples e objetiva, as principais etapas que devem ser seguidas em um projeto de localização de depósitos. Este método baseia-se no esquema apresentado por Plunkett (2003) e procura resumir toda a teoria apresentada neste trabalho em doze passos, de forma a guiar a tarefa de localização.

1. **Identificação do Problema:** deve-se entender o problema e seu escopo de forma detalhada. É preciso levantar qual a rede logística atual, as instalações existentes e o fluxo de produtos. O problema deve ser analisado e estruturado de modo que possa definir os objetivos do estudo e as restrições básicas deste processo.
2. **Definição da Equipe Envolvida no Projeto:** a escolha da equipe deve ser feita de modo que esta seja formada por membros que tenham um conhecimento extensivo do negócio e que estejam altamente motivados e envolvidos no projeto. A equipe deve ter acesso a todos os dados necessários, além de ter poder para realizar as suposições e decisões necessárias. Os membros escolhidos devem ter experiência na área ou então devem ser guiados por um mentor (ou consultor) especialista no assunto.
3. **Coleta de Dados:** esta etapa pode ocorrer simultaneamente com os passos 4 e 6. Haverá a necessidade de coleta de dados numéricos e de dados qualitativos, sendo que a maior parte destes dados pode ser obtida nos registros da própria empresa. Muitas vezes é necessária uma investigação trabalhosa para coletá-los, pois, na maioria das empresas, estes dados não são estruturados, já que não existem sistemas de informação

voltados para sua geração. Segundo Plunkett, a acurácia dos dados coletados deve ser, no mínimo, de 80 a 90%. Ainda, a empresa deve buscar dados e fluxos de sistemas logísticos da concorrência, a fim de obter um *benchmarking* para a comparação de níveis de serviços, redes de distribuição e capacidade operacional. Essas informações podem ser levantadas em publicações ou em relatórios anuais de concorrentes.

4. **Agregação de dados:** devido ao grande volume de dados envolvidos, é necessário o processo de agregação de dados. Em geral, deve-se realizar a agregação de dados sobre produtos, mercados, fornecedores, suposições de custos e performance. Clientes e mercados são frequentemente agregados por local e tipo, tamanho, frequência dos pedidos, taxas de crescimento e serviços logísticos especiais. Os produtos são agregados em famílias de acordo com sua semelhança, características de distribuição e locais de produção similares. Outros dados indispensáveis para este tipo de análise são os fretes de suprimentos e de entregas de mercadorias, que devem ser estabelecidos para cada volume de carga e para cada modalidade de transporte entre centros de distribuição e mercados. Estes dados são normalmente obtidos através de técnicas de regressão ou são fornecidos por empresas transportadoras.
5. **Tabulação de dados:** a tabulação dos dados a serem utilizados na análise deve ser realizada com extremo cuidado, de forma a permitir a identificação de possíveis erros.
6. **Escolha da Técnica de Solução:** a escolha de uma técnica matemática para a análise de um problema de localização deve ser efetuada com base nos objetivos estipulados para o processo de análise, considerando-se as diversas restrições pertinentes (Leal, 1995). Deve-se analisar cuidadosamente a relação custo-benefício entre os métodos. De acordo com a precisão desejada, com as características da rede e com a análise a ser realizada (estática ou dinâmica), podem ser empregados modelos gravitacionais, técnicas de otimização, heurísticas ou de simulação, conforme já apresentado neste trabalho.
7. **Escolha dos Potenciais Pontos de Localização de Depósitos:** antes de iniciar o processo de modelagem, é necessária a escolha dos potenciais pontos para a localização de depósitos. Com base na rede existente, nos objetivos do estudo e em características qualitativas, levantam-se estes pontos potenciais. Nesta etapa, podem ser utilizados modelos heurísticos, uma vez que permitem que boas soluções sejam

obtidas rapidamente entre numerosas alternativas, ou metodologias de análise qualitativa. O método *Delphi* é a metodologia qualitativa que normalmente é utilizada.

8. **Construção do Modelo:** com base na escolha realizada na etapa 6, passa-se ao desenvolvimento do modelo que será a ferramenta para a análise da localização de depósitos. Caso a equipe envolvida no projeto opte pela utilização de um aplicativo comercial, esta etapa deverá ser substituída pela **análise das ferramentas oferecidas no mercado e escolha de um *software* para a aplicação**. O procedimento de cálculo deste *software* deve estar de acordo com a técnica escolhida na etapa 6.
9. **Calibração e Validação do Modelo:** tanto os modelos desenvolvidos quanto os *softwares* comerciais aplicados devem ser devidamente validados para verificar se os resultados correspondem satisfatoriamente à realidade. O processo de validação de um modelo se baseia na reconstrução da configuração atual da rede logística, de modo que seja possível a comparação entre o resultado da análise e os dados reais coletados. Esta etapa consiste na revisão das suposições e simplificações adotadas, identificação de eventuais erros na tabulação de dados ou no *design* do fluxo da cadeia.
10. **Análise de Sensibilidade e de Cenários:** antes de proceder à aplicação do modelo ao caso estudado, devem ser definidos os experimentos e cenários que permitem avaliar a sensibilidade dos resultados gerados frente a mudanças nos diversos parâmetros de custos e volume considerados. A análise de sensibilidade é essencial devido ao comportamento dinâmico do mercado e das práticas operacionais das empresas.
11. **Implementação:** durante a implantação do modelo, deve-se certificar de que as soluções encontradas serão aceitas pela alta administração e pelos demais funcionários da empresa. Em um projeto de re-estruturação da cadeia logística, a equipe envolvida pode encontrar diversas barreiras organizacionais e culturais, devido ao possível fechamento de antigas instalações.
12. **Análise dos resultados:** os resultados devem ser minuciosamente analisados de forma a evitar possíveis erros. Estes devem ser estruturados em forma de um relatório objetivo que apresente as principais suposições e simplificações assumidas e o relato do processo de coleta de dados e as dificuldades encontradas nesta etapa. O processo de agregação de dados e a escolha de cenários também devem ser explicados. Ainda,

devem ser expostos os riscos envolvidos na análise de sensibilidade e as comparações entre as diferentes situações com o *status quo*.

Ressalta-se que os dois primeiros passos – identificação do problema e definição da equipe envolvida no projeto – podem ser agrupados em uma fase de preparação. Uma vez identificados os envolvidos no projeto, passa-se então a fase de planejamento que consiste na coleta, agregação, tabulação de dados e escolha da técnica de solução – etapas 3 a 6. A análise em si inicia-se a partir da sétima etapa, onde são escolhidos os potenciais pontos de localização de depósitos. Esta prossegue com a construção, calibração e validação do modelo, além da análise de sensibilidade e cenários. Desta forma, os passos 7 a 10 poderiam ser agrupados em uma fase de análise inicial, que seria seguida pela fase de implementação – passo 11- e pela análise final dos resultados. É importante salientar que a sistemática apresentada é cíclica, de modo que se pode voltar aos diferentes passos durante o desenvolvimento do projeto. De acordo com os resultados obtidos em cada fase, pode ser necessário retornar às etapas iniciais a fim de compreender melhor o problema, substituir algum membro da equipe, coletar mais dados, ajustar agregações, corrigir tabulações, escolher novos pontos de localização, revalidar o modelo ou mesmo escolher outras técnicas de solução. Há um constante *feedback* entre as diferentes fases, conforme ilustrado na figura 13.

Apesar da importância de todas as etapas apresentadas, deve-se frisar a relevância da fase de planejamento, uma vez que cerca de 2/3 do tempo despendido em análises de localização são gastos na aquisição e preparação dos dados (Lacerda, 2004). A fase de planejamento culmina com a escolha da técnica de solução. Em seguida, serão apresentadas as técnicas de solução escolhidas para o estudo de caso desenvolvido neste trabalho. Serão expostos ainda os dois modelos para a localização de depósitos em cadeias logísticas desenvolvidos neste trabalho.

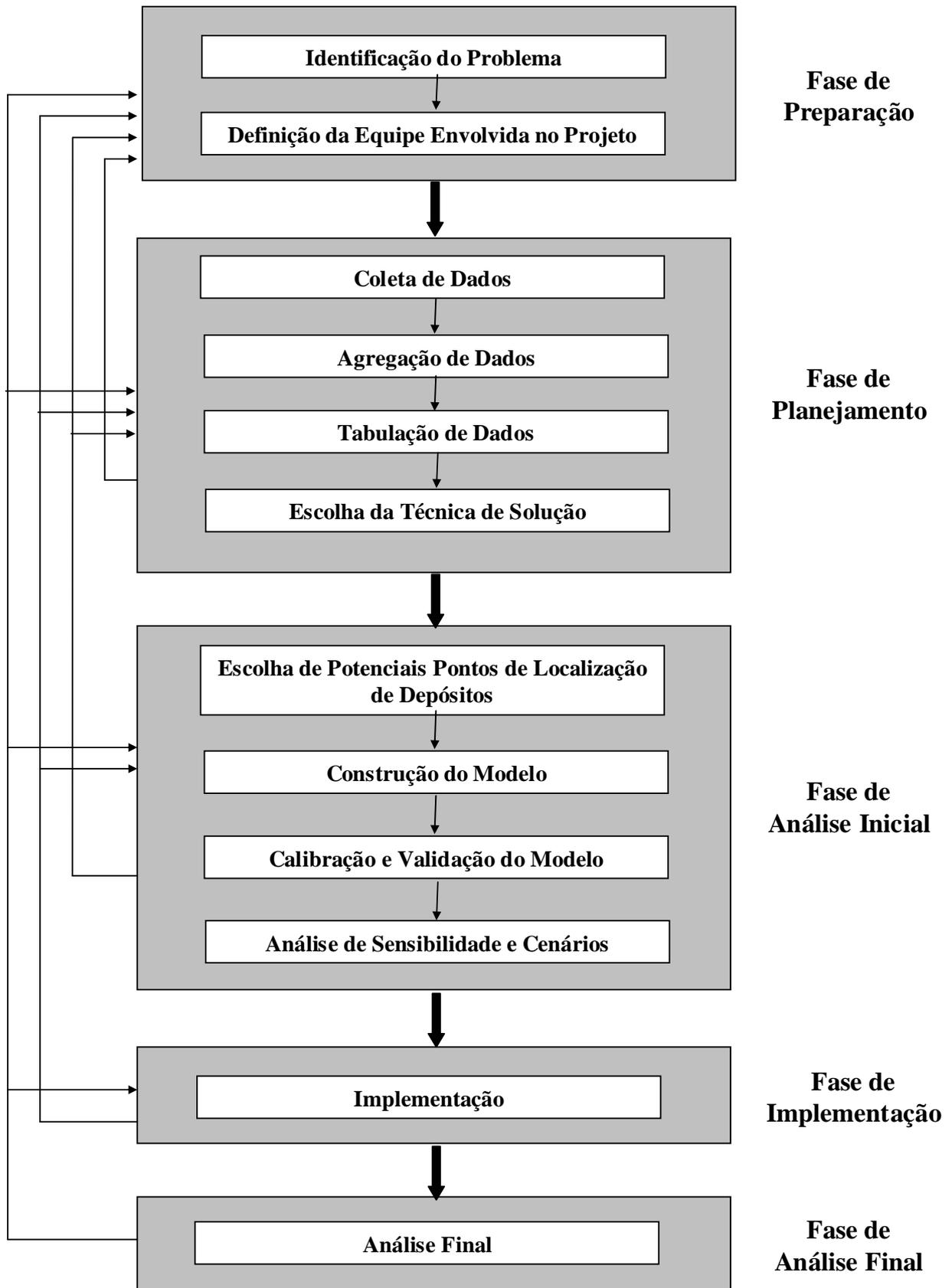


Figura 13 Principais Etapas no Processo de Localização de Depósitos

4.2 DISCUSSÃO SOBRE A ESCOLHA DA TÉCNICA DE SOLUÇÃO

Os primeiros trabalhos sobre o problema da localização e a modelagem de redes de distribuição são da década de 70: Khehn e Hamburger (1963), Efrøymson e Ray (1966) e Spielberg (1963). A literatura reporta diversos artigos referentes a este tema, tais como Ballou (2001), Brandeau e Chiu (1989), Crainic e Laporte (1997), Jayraman (1998) e Tragantalerngsak et al. (2000). Contudo, um grande inconveniente encontrado na maioria destes estudos é que eles limitam a quantidade de depósitos a serem abertos a um número pré-fixado. Ainda, os níveis de capacidade para cada ponto potencial de localização são limitados a apenas um. Este trabalho propôs-se a realizar uma comparação entre as principais técnicas para a localização de centros de distribuição, encontradas na literatura, e desenvolver dois modelos estratégicos para a localização de depósitos à cadeia de suprimentos, baseados em diferentes técnicas matemáticas, nos quais os obstáculos citados serão superados, tratando assim o problema de localização de forma mais realista. Entre as técnicas apresentadas no capítulo 3, optou-se, então, por um modelo de otimização, com base na programação linear inteira mista com relaxação lagrangeana, e um modelo de localização no plano aplicado a múltiplas instalações.

Entre os modelos de localização comerciais, a abordagem da programação linear inteira mista é a metodologia mais utilizada (Ballou, 2001). Segundo Geoffrion e Powers (1995), 90% dos modelos criados para a localização de instalações optam pela programação inteira mista como algoritmo de otimização. Esta metodologia apresenta os melhores resultados para os modelos de localização conforme atestam Love et al. (1988), Lacerda (1999), Ballou (2001), Wanke (2001), Smits (2001) e Bhutta (2004).

A principal vantagem dos modelos de otimização de redes por programação linear inteira mista é que podem ser incluídos na análise custos fixos, bem como diferentes níveis de custos variáveis. Há, portanto, a possibilidade de incorporação de custos fixos para considerar custos de operação de depósitos próprios (Bowersox e Closs, 2001). A abordagem inteira mista permite um alto grau de praticidade, ao poder acomodar as restrições encontradas quotidianamente em operações logísticas. Ainda, com a aplicação de decomposição às técnicas de resolução de programação linear inteira mista, é possível a inclusão de múltiplas *commodities* no projeto do sistema logístico e a localização de múltiplos depósitos. Porém, para sua aplicação, é necessária a aquisição de um pacote especializado de otimização. No

Brasil, foram várias as aplicações da programação linear inteira mista no estudo de modelos de localização, tais como Medina (1996)- para dimensionamento da frota e localização das embarcações para o atendimento de acidentes marítimos, Martos (2000) – projeto de redes logísticas com consideração de estoques e modais na indústria petroquímica, Freitas *et al.* (2005) – projeto da cadeia de suprimentos de biodiesel, e Hamad e Gualda (2005) – projeto de localização de depósitos em uma indústria do segmento bioquímico.

Com relação ao modelo de localização no plano, este necessita de uma quantidade menor de informações e apresenta uma eficiência computacional satisfatória mesmo para problemas de grandes dimensões que analisem toda a cadeia logística. Sua utilização é simples e barata, não sendo necessária a compra de nenhum software. Segundo Leal (1995), o baixo custo destes modelos em relação àqueles que tratam de conjuntos discretos para a localização tem estimulado a sua ampla utilização na análise de problemas reais. Esta modelagem foi aplicada por Leal (1995) na cadeia de distribuição da Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga, a fim de analisar a localização das bases de combustíveis no Estado de São Paulo, e por Novaes e Neto (1995) , para a análise da implantação de armazéns coletores de grãos em uma micro-região produtora. Este modelo é capaz de determinar a localização de vários depósitos, contudo sua aplicação também não garante que a solução encontrada seja a ótima global. Os modelos serão aplicados ao mesmo estudo-de-caso, de modo que seja possível confrontar os resultados obtidos e estabelecer conclusões em relação à sua eficiência, precisão, praticidade e aplicabilidade.

A escolha pela aplicação de um destes modelos para a análise de localização varia de acordo com a precisão desejada para os resultados, com as características da rede e com a disponibilidade de recursos financeiros e de tempo. É importante salientar que, para se realizar uma análise completa de canais de distribuição complexos, as técnicas de otimização requerem grandes intervalos de tempo de processamento. Os avanços obtidos com algoritmos de solução e a velocidade dos computadores possibilitaram um aumento substancial da capacidade de otimização de redes. Porém, dependendo da dimensão da cadeia, alguns problemas requerem decomposições, relaxamentos ou a aplicação de heurísticas combinadas a técnicas de otimização. Para casos muito complexos, recomenda-se , então, que a análise seja iniciada pelo modelo de localização no plano proposto. Assim, os pontos potenciais para a localização de depósitos seriam filtrados e o resultado encontrado nesta primeira análise alimentaria o algoritmo de otimização. Uma vez reduzido o volume de dados de entrada, este

problema poderia ser solucionado através do modelo de otimização com um menor tempo de processamento.

4.2.1 MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O objetivo deste modelo de localização é determinar os locais de instalação de depósitos, de forma a se atender às diversas demandas, respeitando-se várias ofertas, de forma a minimizar os custos de transporte e implantação e operação de depósitos. O algoritmo proposto neste trabalho baseia-se na metodologia apresentada por Bramel e Simchi-Levi (1997) e por Amiri (2004).

A modelagem proposta por Bramel e Simchi-Levi (1997) é aplicada para a localização de multi-depósitos em uma cadeia com multi-*commodities*. Esta ferramenta analisa toda a cadeia logística, de modo que engloba o transporte de produtos da fábrica aos depósitos e destes às zonas de consumo, considerando o custo de transporte de cada produto em cada um destes percursos. A partir de uma lista de localizações potenciais para a instalação de depósitos, o algoritmo identifica quais depósitos deverão ser abertos de modo a minimizar o custo total de transporte e de implantação e operação dos centros de distribuição. Contudo, o número de depósitos a serem instalados é pré-fixado. O modelo considera que o custo de instalação e operação de um depósito varia de acordo com sua localização e que cada zona de consumo pode ter sua demanda por determinado produto abastecida apenas por um único depósito. Assim, as zonas de mercado podem ser abastecidas por diferentes centros de distribuição, porém cada centro fornecerá um produto distinto. Em relação ao abastecimento dos depósitos, estes podem ser realizados por diferentes fábricas ou fornecedores, inclusive para o mesmo produto.

No entanto, é importante ressaltar que o modelo proposto por Bramel e Simchi-Levi (1997) apresenta limitações quanto ao nível de capacidade para cada depósito e quanto ao número de depósitos a serem abertos. Conforme explicado, o número de depósitos a ser localizado por este algoritmo é pré-fixado por uma variável de entrada. Ainda, estabelece-se apenas uma capacidade (em volume) para cada depósito, ou seja, a análise limita-se a verificar se a instalação de um depósito com uma capacidade específica em um determinado local otimizaria ou não a função objetivo, de forma que um depósito com uma capacidade distinta naquele local poderia corresponder à outra solução ótima.

Visando solucionar as limitações apresentadas pelo modelo de Bramel e Simchi-Levi (1997), foram adotadas medidas propostas por Amiri (2004). O modelo apresentado por Amiri (2004) aplica-se a localização de múltiplas instalações, porém para uma única família de produtos. Este algoritmo baseia-se em considerações semelhantes às aquelas expostas por Bramel e Simchi-Levi, contudo, não limita o número de instalações a serem localizadas e analisa a abertura de depósitos com diferentes capacidades em um mesmo local.

Ressalta-se que as soluções dos algoritmos de Bramel e Simchi-Levi (1997) e Amiri (2004) se dão através da programação linear inteira mista com técnicas de relaxação lagrangeana. Segundo Bramel e Simchi-Levi (1997), há diversos algoritmos propostos para a solução deste tipo de problema de localização, sendo que todos se baseiam em técnicas de relaxação lagrangeana. Como exemplo, os autores citam Neebe e Rao (1983, apud Bramel e Simchi-Levi, 1997), Barcelos e Casanovas (1984, Bramel e Simchi-Levi, 1997), Klincewicz e Luss (1986, Bramel e Simchi-Levi, 1997) e Pirkul (1987, Bramel e Simchi-Levi, 1997).

A seguir serão expostas a modelagem adotada neste trabalho e as alterações feitas nos modelos originais.

4.2.1.1 *Especificação do Modelo*

O modelo a ser utilizado diz respeito à minimização de uma função objetivo representativa dos custos considerados para a localização de centros de distribuição, sujeita a uma série de restrições físicas e comportamentais. O algoritmo desenvolvido é aplicado para a localização de multi-depósitos em uma cadeia com multi-produtos, sendo capaz de analisar toda a cadeia logística.

A partir de uma lista de localizações potenciais para a instalação de depósitos, o algoritmo identifica a quantidade e quais depósitos deverão ser abertos de modo a minimizar o custo logístico total, analisando a abertura de depósitos com diferentes capacidades em um mesmo local. Consideram-se o custo de transporte de cada produto das fábricas aos depósitos e destes às zonas de consumo, além do custo de instalação e operação de cada depósito variando de acordo com sua localização. Optou-se por restringir o abastecimento da demanda de cada zona de consumo por determinado produto por um único depósito, uma vez que isto é

o que geralmente ocorre nas cadeias de distribuição. Porém, o abastecimento dos depósitos pode ser realizado por diferentes fornecedores, inclusive para o mesmo produto.

As principais variáveis e parâmetros utilizados neste modelo respeitam a seguinte nomenclatura:

Tabela 1 Variáveis do Modelo de Otimização

Variáveis	Definições
I	Índice de zona de consumo, $i= 1, \dots, I$
J	Índice do depósito, $j=1, \dots, J$
L	Índice do fornecedor ou fábrica, $l=1, \dots, L$
K	Índice do tipo de produto, $k=1, \dots, K$
R	Índice do nível de capacidade disponível para os depósitos, $r=1, \dots, R$
Variáveis de Entrada (Valores fixados)	
D_{ijk}	Custo unitário de transporte do produto k do depósito j para a zona de consumo i (\$/unid)
C_{ljk}	Custo unitário de transporte do produto k do fornecedor ou fábrica l para o depósito j (\$/unid)
F_{rj}	Custos fixos para o depósito j com nível de capacidade r (\$/período)
w_{ik}	Demanda média por produto k na zona de consumo i (unid/período)
q_{rj}	Capacidade de armazenagem do depósito j com nível de capacidade r (m^3)
s_k	Volume unitário do produto k (m^3)
v_{lk}	Capacidade de produção do fornecedor l de produto k (unid/período)
Variáveis de Saída (variáveis de decisão)	
U_{ljk}	Quantidade de produto k transportado da fábrica l para o depósito j (unid)
Z	Custo total (\$/período)
Variáveis Binárias (variáveis de decisão)	
Y_{rj}	1, se o depósito j com capacidade r está aberto; zero, caso contrário
X_{jik}	1, se a zona de consumo i recebe o produto k do depósito j ; zero, caso contrário

4.2.1.2 Função Objetivo

Na função objetivo, representada pela equação 25, tem-se a função custo considerada para o problema de localização de depósitos. Ela representa o custo total (Z) da cadeia de suprimentos e é solucionada por programação linear inteira mista com relaxação lagrangeana.

$$\min Z = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K C_{ljk} U_{ljk} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K D_{jik} w_{ik} X_{jik} + \sum_{j=1}^J \sum_{r=1}^R F_{rj} Y_{rj} \quad (25)$$

Entre os custos que compõem o custo total da cadeia de suprimentos incluem-se os custos fixos e variáveis, divididos em três componentes: (*i*) custos de transporte entre a

fábrica e depósito; (ii) custos de transporte entre depósito e zona de consumo; (iii) custo fixo de instalação e operação de depósitos.

4.2.1.3 Restrições

As equações 26 a 32, apresentadas a seguir, representam as restrições deste modelo.

$$\sum_{j=1}^J X_{jik} = 1 \quad \forall i, \forall k \quad (26)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K s_k w_{ik} X_{jik} \leq \sum_{r=1}^R q_{rj} Y_{rj} \quad \forall j \quad (27)$$

$$\sum_{r=1}^R Y_{rj} \leq 1 \quad \forall j \quad (28)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{ik} X_{jik} \leq \sum_{l=1}^L U_{ljk} \quad \forall j, \forall k \quad (29)$$

$$\sum_{j=1}^J U_{ljk} \leq v_{lk} \quad \forall l, \forall k \quad (30)$$

$$Y_{rj}, X_{jik} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (31)$$

$$U_{ljk} \geq 0 \quad \forall l, \forall j, \forall k \quad (32)$$

A equação 26 restringe o abastecimento da demanda de cada zona de consumo por determinado produto por um único depósito. A restrição representada pela equação 27 garante que a demanda das zonas de consumo seja inferior à capacidade dos depósitos abertos, enquanto a equação 28 permite que no máximo um nível de capacidade seja atribuído a cada depósito. A equação 29 assegura que a demanda de produtos k atendida pelo depósito j não ultrapasse a quantidade de produtos k fornecidos a este depósito. A equação 30 garante que a quantidade de produtos k distribuída pela fábrica ou fornecedor seja inferior à capacidade de produção do fornecedor. As restrições representadas pelas equações 31 e 32 apresentam as variáveis binárias e positivas, respectivamente.

4.2.1.4 Implementação Computacional

O processo de implementação computacional foi realizado em linguagem de otimização GAMS- *General Algebraic Modeling System* (Brooke *et al.*, 1998), juntamente com o solver XA, através de programação linear inteira mista com relaxação lagrangeana.

4.2.2 MODELO DE LOCALIZAÇÃO NO PLANO APLICADO A MÚLTIPLAS INSTALAÇÕES E MÚLTIPLAS *COMMODITIES*

O modelo de localização selecionado concentra-se na minimização do custo logístico total do sistema de distribuição, sendo que os custos considerados englobam o custo de manutenção de depósitos, o custo de estoque e os custos de transporte entre fábricas ou fornecedores, depósitos e zonas de consumo. O algoritmo proposto baseia-se no modelo apresentado por Eilon, Watson-Gandy e Christofides (1971), que foi customizado por Leal (1995) para a aplicação na cadeia de distribuição da Companhia Brasileira de Petróleo Ipiranga, a fim de analisar a localização das bases de combustíveis no Estado de São Paulo.

O modelo apresentado por Eilon, Watson-Gandy e Christofides (1971) concentra-se na minimização da equação (8), que foi modificada por Leal (1995) de modo a incluir os custos de estoque, conforme exposto na equação (33).

$$CT = \sum_{i=1}^m (CV(v_i) + CF) + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m (t_1 + k_1)v_{1ij}d_{1ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (t_2 + k_2)v_{2ij}d_{2ij} + E(m) \quad (33)$$

Onde: k: número de fábricas;

m: número de depósitos;

n: número de clientes;

CV(v_i): custo variável de manutenção do depósito;

CF: custo fixo de manutenção do depósito;

t_1 : custo de transporte por unidade de volume e distância entre fábricas e depósitos;

k_1, k_2 : constantes proporcionais à velocidade do meio de transporte empregado para a transferência de produtos, e ao custo de oportunidade/obsolescência/perda de estoque por unidade de volume;

t_2 : custo de transporte por unidade de volume e distância entre depósitos e clientes;

v_{1ij} : volume total de produtos transportados entre a fábrica i e o depósito j ;

v_{2ij} : volume total de produtos transportados entre o depósito i e o cliente j ;

d_{1ij} : distância entre a fábrica i e o depósito j ;

d_{2ij} : distância entre o depósito i e o cliente j ;

$E(m)$: custo de estoque como função do número m de depósitos do sistema;

Os pontos ideais para a localização dos depósitos são obtidos através da derivação parcial da equação (33) em relação às coordenadas do depósito (x_i e y_j). As formulações utilizadas para a determinação da localização ótima de depósitos são obtidas igualando as derivadas parciais a zero e resolvendo estas equações para x_i e y_j .

$$x_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{(t_1 + k_1)v_{1ij} f x_j}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{(t_2 + k_2)v_{2ij} c x_j}{d_{2ij}} \right) \right]}{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{(t_1 + k_1)v_{1ij}}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{(t_2 + k_2)v_{2ij}}{d_{2ij}} \right) \right]} \quad (34)$$

$$y_i = \frac{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{(t_1 + k_1)v_{1ij} f y_j}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{(t_2 + k_2)v_{2ij} c y_j}{d_{2ij}} \right) \right]}{\left[\sum_{j=1}^K \left(\frac{(t_1 + k_1)v_{1ij}}{d_{1ji}} \right) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{(t_2 + k_2)v_{2ij}}{d_{2ij}} \right) \right]} \quad (35)$$

A partir de uma lista de localizações potenciais para a instalação de depósitos, utiliza-se o método iterativo para o cálculo das coordenadas da nova localização para os diversos depósitos. Inicialmente, aloca-se cada depósito à fábrica (ponto de suprimento) mais próxima e cada zona de consumo é alocada ao depósito de menor custo de suprimento, sendo considerados apenas os custos de transferência e de entrega. Calcula-se, então, um novo vetor de coordenadas para a localização de depósitos através das equações (34) e (35).

Leal (1995) descreve que, a partir da segunda iteração, o critério de alocação dos clientes aos depósitos passa a considerar também os custos de operação de depósitos. Segundo o autor (p. 28), “o volume total transferido para cada depósito na iteração anterior é utilizado para calcular o custo marginal de operação, que somado ao custo marginal de suprimento de cada cliente constitui o novo critério de alocação. Em cada iteração, as coordenadas dos depósitos (x_i, y_i) são recalculadas até que nenhuma redução adicional no valor da função objetivo seja obtida.”

A fim de determinar o número de depósitos para qual o custo logístico total será mínimo, o modelo desconsidera o depósito com menor volume de transferências e recalcula um novo vetor de coordenadas para a localização de depósitos através do método iterativo já descrito. Em seguida, compara-se a função custo total da solução para $k-1$ depósitos à solução para k depósitos. Caso o custo para $k-1$ depósitos seja superior, tem-se que k é o número ótimo de depósitos e que o vetor de coordenadas obtidas para $n=k$ é a localização ideal dos depósitos.

Em relação à eficácia do modelo, Leal (1995) ressalva que a função objetivo é uma função convexa com diversos pontos de mínimo, de modo que a aplicação do modelo pode levar à seleção de um mínimo local, dependendo da localização inicial dos depósitos. Para evitar este problema, deve-se aplicar o modelo repetidas vezes com diferentes conjuntos iniciais. Ainda, o autor ressalta que o tamanho do conjunto inicial de pontos potenciais para a localização de depósitos deve ser no mínimo três vezes superior ao número ótimo de depósitos para que a solução convirja para o mínimo global do problema.

4.2.2.1 *Especificação do Modelo*

O algoritmo desenvolvido baseia-se nos modelos apresentados por Eilon, Watson-Gandy e Christofides (1971) e por Leal (1995). Porém, algumas alterações foram necessárias para que este fosse aplicado para a localização de multi-depósitos em uma cadeia com multi-produtos.

No modelo original, considerava-se o custo fixo de operação de depósitos como uma constante, independente do local onde o centro de distribuição fosse instalado. Apesar dos custos fixos de operação de depósitos, que incluem gastos com aluguel, depreciação, taxas e seguros, serem independentes do nível de atividade do específico depósito, este tende a variar de acordo com a localização do centro de distribuição, já que a valorização imobiliária, alíquotas de imposto e prêmios de seguro tendem a variar entre diferentes regiões. Por isto, adaptou-se o programa para que este considerasse estas diferenças regionais e permitisse a entrada de custos fixos de instalação distintos para cada local.

Ainda, o modelo original era aplicado a uma única família de produtos. Foram necessárias alterações em seu algoritmo de modo a adaptá-lo para que o usuário pudesse entrar com as demandas por diferentes produtos das zonas de consumo. Desenvolveu-se uma *procedure* que permite a leitura destes dados e os transformam em uma demanda equivalente em unidade de volume (m^3).

As principais variáveis e parâmetros utilizados neste modelo respeitam a seguinte nomenclatura:

Tabela 2 Variáveis do Modelo de Otimização

Variáveis	Definições
Máx	Número máximo de depósitos e zonas de consumo no sistema
I,j,k,n,d	Variáveis auxiliares
Ba	Número de depósitos ativos no sistema
int_i	Número de iterações efetuadas pelo algoritmo
Cmunic	Código dos municípios
First	Variável auxiliar booleana
Bp, bs, cl	Localização dos pontos de fornecimento, depósitos e clientes
bs_1	Localização dos depósitos na iteração anterior
bsn_1	Localização ótima dos depósitos para nbs+1
dmax, dtot	Demanda máxima e demanda total das bases secundárias
Nmin	Número mínimo de bases necessárias para atender restrições de demanda
Cini	Custo total para o sistema inicial
ctbp, ctbs	Custo de transporte das unidades fornecedoras aos depósitos e destes às zonas de consumo
alfa, beta	Parâmetros alfa e beta da função custo da operação dos depósitos
Ctot	Custo total do sistema
ctot_1	Custo total do sistema na iteração anterior
ctotn_1	Custo total mínimo do sistema na nbs+1
V	Volume unitário do produto (m ³)
Dbp,dbs,dcl	Demanda das unidades de fornecimento, depósitos e zonas de consumo
dbs_1	Demanda dos depósitos na iteração anterior
Dclpr	Demanda da zona de consumo por produto (variável auxiliar)
C	Índice que indica a zona de consumo
Pr	Índice que indica o produto
Cfbs	Custo fixo de operação dos depósitos
Dclk	Demanda da zona de consumo por produto
Sbs	Índice que armazena a fonte de fornecimento que atende cada depósito
Scl	Índice que armazena o depósito que atende cada zona de consumo
Sbs_1, scl_1	Índices que armazenam a fonte de fornecimento que atende cada depósito e o depósito que atende cada zona de consumo na iteração anterior
Sbsn_1, scln_1	Índices que armazenam a fonte de fornecimento que atende cada depósito e o depósito que atende cada zona de consumo para a solução ótima com nbs+1
nome_cl, nome_produto	Nome dos municípios e produtos
Hora,min,seg,cseg	Tempo de processamento

O programa desenvolvido busca, a partir de uma lista de pontos potenciais para a localização de depósitos, determinar o número e a localização dos centros de distribuição que minimizem o custo logístico total. Contudo, este não garante que a solução encontrada seja o ponto de mínimo global, podendo ser um mínimo local. Em síntese, o algoritmo proposto segue os passos:

1. Cálculo do número mínimo de depósitos para atender a demanda total dos clientes (razão entre demanda total dos clientes e a capacidade máxima dos depósitos);
2. Ordenação dos Clientes (segundo maior demanda);
3. Alocação dos fornecedores a depósitos segundo menor distância;

4. Alocação dos clientes a depósitos segundo menor custo marginal para determinado número de depósitos;
5. Cálculo do custo inicial;
6. Processo iterativo para minimização;
 - a. Cálculo das coordenadas x_i e y_i de localização dos depósitos;
 - b. Realocação de clientes e fornecedores a depósitos;
7. Cálculo dos custos da configuração;
8. Redução do número de depósitos;
9. Repetição do processo iterativo;
10. Cálculo dos custos logísticos totais;
11. Comparação entre os valores de custos logísticos;
12. Determinação do número e localização dos depósitos com o menor custo logístico, de acordo com o critério de parada estabelecido.

4.2.2.2 Restrições

Os números de depósitos e de clientes no sistema estão restritos a 250 devido à capacidade do programa Turbo Pascal 7.0, no qual foi implementado o algoritmo. Ainda, o algoritmo apresenta restrições quanto ao critério de alocação de zonas de consumo aos depósitos. Cada zona de consumo deve ser alocada ao depósito com menor custo marginal total e que possua capacidade ociosa suficiente para atender a demanda da zona de consumo. Assim, os clientes são alocados por ordem de volume demandado. Contudo, esta restrição é em relação à capacidade do depósito para um volume total de produtos, não sendo considerada uma capacidade distinta para os diferentes produtos.

O modelo desenvolvido permite a entrada de demandas das zonas de consumo por diferentes produtos e as transforma em uma demanda equivalente em unidade de volume

(m³). Desta forma, considera-se que todos os fornecedores podem suprir as demandas por qualquer produto. Além disto, não há restrições quanto à capacidade dos fornecedores, sendo considerado que estes têm capacidade infinita. Outra restrição estabelecida no algoritmo refere-se ao número ideal de instalações, que deve ser obtido através da comparação do custo ótimo para cada número fixo de depósitos dentro da faixa desejada. O modelo de solução é adaptado para prosseguir o processamento após o ponto mínimo, quando a curva passa a crescer com a redução do número de depósitos.

4.2.2.3 *Implementação Computacional*

O processo de implementação computacional foi realizado em linguagem de programação Turbo Pascal 7.0. O programa, denominado Localizacao.Pas, encontra-se no Apêndice I deste trabalho. As entradas e saídas deste programa foram implementadas sob forma de arquivo texto, contudo foi incluída uma saída adicional no vídeo, com o número de iterações, número de depósitos e o custo total, de modo a facilitar o acompanhamento do processamento do programa. O programa de localização requer seis arquivos com dados de entrada, sendo que todos os dados devem ser separados por espaços:

- BASE_P.TXT: Este arquivo contém a localização dos pontos de suprimentos (fábricas ou fornecedores), sendo que cada linha deve conter as coordenadas x e y de um ponto de suprimento.
- BASE_S.TXT: Este arquivo contém o conjunto inicial de pontos para a localização dos depósitos e o custo fixo de operação de cada um dos depósitos, sendo que cada linha contém as coordenadas x e y de um depósito inicial e seu custo fixo de operação.
- PRODUTOS.TXT: Este arquivo contém o volume unitário de cada produto e o tipo de produto. Cada linha do arquivo deve conter o volume unitário do produto (m³) e o nome da mercadoria.
- CLIENTES.TXT: Cada linha deste arquivo deve conter o código de cada zona de consumo (município), sua localização (coordenadas x e y) e o nome da zona de consumo.

- DEMPRODUTOS.TXT: Este arquivo contém em cada linha a demanda por unidades de produto, o código do cliente e do produto.
- CUSTOS. TXT: Este arquivo contém apenas uma linha com o custo unitário de transferência da unidade fornecedora ao depósito por unidade de volume e distância, o custo unitário de transporte do depósito à zona de consumo por unidade de volume e distância, coeficiente do custo variável de operação de depósitos, expoente representando o ganho de escala e capacidade máxima dos depósitos (m^3).

Os arquivos de saída gerados pelo programa de localização são:

- LOCAL.TXT: Este arquivo contém o custo do conjunto inicial de pontos fornecidos para a localização de depósitos, o custo ótimo final, o tempo total de processamento, a localização e a demanda dos depósitos e a respectiva alocação aos pontos de suprimento.
- ALOCA.TXT: Este arquivo contém a alocação dos clientes aos depósitos.
- INT.TXT: Este arquivo contém o custo ótimo para os diferentes números de depósitos considerados durante o processamento, e o tempo de processamento decorrido até cada solução.
- CDEC.TXT: Este arquivo contém o custo ótimo para os diferentes números de depósitos considerados durante o processamento, decomposto em custos totais de transferência, entrega e operação dos depósitos.

A seguir é apresentada a aplicação dos modelos de localização propostos a um estudo de caso real.

5 UMA APLICAÇÃO AO SETOR DE SUPRIMENTOS INDUSTRIAIS

Neste e no próximo capítulo será ilustrada a aplicação dos modelos desenvolvidos através de um estudo de caso real, seguindo-se os doze passos da sistemática de localização de depósitos proposta. Neste capítulo, serão expostas as fases de preparação, planejamento, análise inicial e implementação. A fase de análise final será objeto do capítulo 6.

5.1 FASE DE PREPARAÇÃO

Na etapa de identificação do problema é feita uma contextualização da empresa analisada e de seu mercado de inserção – sob aspectos econômicos, de concorrência e de sua cadeia logística. Em seguida, passa-se a etapa de definição da equipe envolvida no projeto.

5.1.1 Identificação do Problema

A empresa analisada é líder nacional em suprimentos industriais, comercializando ferramentas, máquinas e equipamentos destinados à manutenção, reparo e operação (MRO) dos mais diversos segmentos industriais e de serviços. A organização atua em todo o Brasil, porém destaca-se por sua forte presença nas regiões sul e sudeste. Apesar de manter seu foco no mercado da Região Sul e no Estado de São Paulo, a empresa procura ampliar sua atuação a nível nacional e, por isto, está investindo na abertura de novas unidades em diversos estados. Em 2004 foram inauguradas três novas unidades nos estados de Minas Gerais, Bahia e Rio Grande do Sul. Atualmente a empresa conta com nove unidades administrativas no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Bahia.

A missão da organização é “Ser o melhor e maior fornecedor de suprimentos e soluções industriais, através de excelência no atendimento, atualização tecnológica e variedade de produtos.” Ainda, o relacionamento com os clientes, fornecedores, funcionários e com a comunidade são embasados em um alto padrão moral, representado nos princípios e valores da empresa. São eles: *(i)* respeito ao ser humano e seus direitos; *(ii)* excelência no atendimento e seriedade na prestação de serviços ao cliente; *(iii)* rigoroso e pontual cumprimento das obrigações com funcionários, clientes, fornecedores e governo; *(iv)*

reconhecimento do lucro como fator de desenvolvimento e da necessária participação aos que ajudam a produzi-lo; e (v) utilidade da empresa à comunidade.

A principal característica da organização é a diversidade de produtos em estoque: são aproximadamente 90.000 itens ativos para pronta entrega e 300.000 itens comercializados. As linhas de produtos são classificadas em: (i) Máquinas e Motores; (ii) Mecânica Geral; (iii) Ferramentas Elétricas, Pneumáticas e Manuais; (iv) Equipamentos para pintura, abrasivos e polimento; (v) Equipamentos e Consumíveis para Solda; (vi) Instrumentos de Medição; Correias e Mangueiras; Rolamentos e Mancais; Parafusos e Fixações; Movimentação de Carga, Tração e Levante; (vii) Material Elétrico; (viii) Equipamentos e Produtos para construção civil; (ix) Equipamentos para Proteção e Segurança; Metais Ferrosos e Não-Ferrosos; (x) Rodas e Rodízios; (xi) Produtos Químicos Industriais; (xii) Ferramentas Automotivas; (xiii) Equipamentos para Embalagem e; (xiv) Fitas Adesivas Industriais e Conexões e Válvulas Industriais (xv) Corte e Usinagem.

A empresa não possui processos de industrialização, portanto, todos os seus produtos são adquiridos diretamente de produtores e distribuídos para mais de 120.000 clientes, em diversos segmentos industriais e de prestação de serviços. Devido ao extenso *mix* de produtos, a organização possui 1.500 fornecedores, dos quais 80% se concentram no estado de São Paulo, e os demais 20% se encontram distribuídos pela Região Sul. Para manter um alto padrão de qualidade para seus clientes, a empresa seleciona rigidamente seus fornecedores e mantém com estes um estreito relacionamento. No setor industrial, a empresa atua nos seguintes segmentos: metal-mecânica, metalurgia, siderurgia, automobilística, autopeças, eletroeletrônica, telecomunicações, construção civil, cerâmica, química, papel e celulose, madeireira e moveleira, máquinas e implementos agrícolas, couro e calçadista, mineração, alimentos e refrigeração. Já no setor de serviços, atende principalmente a oficinas mecânicas e auto-elétricas, postos de serviços, borracharias, manutenção e limpeza, hospitais, clubes, transportes e órgãos públicos.

A empresa se destaca devido ao *mix* de produtos e à amplitude de mercado, que abrange todo território nacional. Contudo, suas vendas concentram-se no estado do Rio Grande do Sul, que representa 49% do volume de vendas da empresa, seguido pelo estado do Paraná (23%) e Santa Catarina (13%). Os demais estados contribuem com 15% da venda total. Concentrando-se no estado do Rio Grande do Sul, apenas 64 municípios participam com

80,4% da venda e, destes, 20 estão situados a um raio de 100 km de distância do principal centro de distribuição da empresa localizado em Viamão (Kaminski, 2004). Neste mercado, não há concorrência no mesmo formato da empresa analisada. Em geral, seus concorrentes são lojas pequenas com amplitude de atuação local ou regional, especializadas em determinados segmentos de produtos, que atuam de forma predatória em preço (Kaminski, 2004). A organização se diferencia, então, na qualidade de seus produtos e na prestação de serviços e, por isto, apresenta altas taxas de crescimento. Em 2003, faturou R\$ 496 milhões em receita bruta, resultado 37% superior ao obtido em 2001.

Como a empresa exerce basicamente a atividade de atacado/varejo, adquirindo suas mercadorias diretamente de fabricantes, seu canal de distribuição apresenta apenas três agentes: fabricantes, empresa e cliente (final ou intermediário). A empresa atua basicamente em um mercado de *commodities*, de modo que, para diferenciar-se, esta deve primar pela qualidade de atendimento, agregando valor através de serviços. Isto requer uma rede de distribuição eficiente que permita um pronto atendimento ao cliente. Assim, a logística de distribuição recebe um papel fundamental na agregação de valor ao cliente.

A rede logística da empresa é formada por centros de distribuição e por unidades comerciais localizadas nos seguintes estados brasileiros: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Bahia. As unidades comerciais consideradas nesta análise desempenham a função de loja e de depósito. É importante salientar que no processo de suprimentos da rede, todos os depósitos podem receber mercadorias diretamente dos fornecedores ou transferências dos demais centros de distribuição, de modo que todos os estados consumidores são abastecidos por todos os depósitos, havendo um desgaste operacional e de recursos (Kaminski, 2004). Espera-se, com este trabalho, colaborar para reduzir estes custos.

Além da estrutura de depósitos e lojas, os clientes ainda podem contar com as visitas personalizadas, através de vendedores especializados. A empresa também presta atendimento através de seu canal de televendas. Buscando agregar valor ao seu produto, a organização ainda disponibiliza aos seus clientes o serviço de entrega técnica, com acompanhamento de montagem e instruções de uso de equipamentos de tecnologia, e dispõe de uma equipe de Promotores Técnicos, aptos a realizar treinamentos, demonstrações e desenvolvimento junto às linhas de produção e manutenção. Além disto, a organização aplica o conceito de Estoque

Gerenciado pelo Fornecedor (*Vendor Managed Inventory - VMI*) para seus principais clientes. Com o sistema *Factory Store*, a empresa mantém dentro das dependências do cliente, um almoxarifado com os produtos mais consumidos. Com isto, obtém-se a redução de custos, tanto dos intangíveis, quanto das emissões de ordem de compras. Atualmente, mais de 10 unidades estão funcionando como estoque terceirizado.

Devido à configuração da rede e ao *mix* de produtos, o processo de logística da organização apresenta um alto grau de complexidade. A empresa busca seu diferencial através da disposição de estoque, da variedade de produtos, da diferenciação do mercado e da agilidade e flexibilidade da administração do ciclo do pedido (Kaminski, 2004). Os prazos de entrega acordados com os clientes são estabelecidos conforme a região de atendimento, podendo variar de 12 a 72 horas. Quando há um produto em falta, o vendedor acompanha o processo e renegocia com o cliente um novo prazo de atendimento. Por sua vez, todas as atividades de transporte são realizadas por transportadoras contratadas, sendo toda a troca de informações efetuada via EDI (*Electronic data Exchange – Troca Eletrônica de Dados*). A representatividade média do custo de transporte no custo logístico total da organização – que engloba os custos de estoque total, instalação e transporte – é de 36%, o que reforça a importância da realização de um estudo de localização de depósitos na empresa analisada.

5.1.2 Definição da Equipe Envolvida no Projeto

Pelo caráter especial da dissertação, a equipe envolvida no estudo é composta pela autora e por técnicos do Departamento de Logística da empresa caso. Os técnicos do Departamento de Logística auxiliaram na fase de preparação e na etapa de coleta de dados, sendo as demais análises realizadas pela autora.

5.2 FASE DE PLANEJAMENTO

Para a aplicação dos modelos de localização, é necessária a coleta de diversas informações relativas ao sistema de distribuição analisado. Nas seções seguintes serão apresentados consolidadamente os passos 3 e 4 da sistemática de localização de depósitos, referentes à coleta e agregação de dados, além das aproximações necessárias para a viabilização deste estudo de caso. Ressalta-se que o processo de tabulação dos dados desenvolveu-se em duas etapas, uma para cada modelo proposto, já que cada programa possui

um mecanismo de entrada de dados distinto. Nesta seção não será apresentada a etapa relativa ao processo de Escolha do Modelo, pois esta foi exposta na seção 4.2 deste trabalho.

5.2.1 Produtos

A empresa de distribuição de suprimentos industriais atua na comercialização de 300.000 itens, sendo que destes 90.000 são itens ativos para pronta entrega. Todos estes produtos são classificados segundo o critério da curva ABC, de modo que os produtos classe A, B e C são aqueles que representam 80%, 95% e 100% das receitas respectivamente. Contudo, a área de logística da empresa é fragmentada, de modo que as atividades logísticas são responsabilidade das diretorias de compras e vendas. Estas diretorias são estruturadas em nove departamentos, cujas porcentagens de vendas em valor e volume estão representadas na tabela 3.

Tabela 3 Vendas por departamentos

Departamento	Porcentagem de Venda em valor	Porcentagem de Venda em volume
Máquinas e Motores	14,67%	0,22%
Corte e Usinagem/ Parafusos e Fixações	13,76%	11,18%
Ferramentas Elétricas, Pneumáticas e Manuais/ Equipamentos e Consumíveis para Solda / Produtos Químicos Industriais	13,47%	10,65%
Movimentação de Carga, Tração e Levante/ Instrumentos de Medição	11,87%	6,53%
Equipamentos para pintura, abrasivos e polimento/ Ferramentas Automotivas	11,70%	11,53%
Correias e Mangueiras/Rolamentos e Mancais	10,56%	9,08%
Equipamentos e Produtos para construção civil/ Equipamentos para Proteção e Segurança	9,69%	19,41%
Metais Ferrosos e Não-Ferrosos	9,01%	18,78%
Material Elétrico	5,27%	12,62%

Devido ao extenso volume de itens, optou-se por analisar apenas os produtos do departamento de Máquinas e Motores, uma vez que este apresenta maior porcentagem de venda em valor. O departamento de Máquinas e Motores possui 1.523 itens, de modo que foi necessário agregar itens com características similares e padrões de distribuição semelhantes em famílias de produtos. Ballou (2001) e Simchi-Levi *et al.* (2001) recomendam que existam cerca de 20 grupos de produtos para uma análise de rede. Desta forma, selecionou-se para o

estudo de caso 20 famílias de produtos do departamento analisado, sendo 10 famílias de produtos classe A, 5 de produtos classe B e 5 de produtos classe C. Dentro das classificações, foram escolhidos os grupos com maior receita. Optou-se por um maior número de produtos classe A devido a sua importância em termos de receita. Também foram considerados produtos classes B e C devido a sua representatividade no volume de itens movimentados e devido à importância de sua disponibilidade para manter um elevado nível de atendimento aos clientes. Segundo o gerente de Logística, deve-se manter a comercialização destes produtos porque, apesar de sua representatividade mais baixa nas receitas, estes ampliam a diversidade de produtos oferecidos, o que é o grande diferencial da organização.

Na tabela 4 são apresentadas as famílias de produtos consideradas na análise, suas porcentagens de venda, os números de itens que compõem as famílias, suas unidades de venda e os volumes dos produtos. Para cada família, adotou-se o volume do item com maior porcentagem de venda em valor como o volume padrão de análise. Reforça-se que as famílias consideradas representam 73% da receita gerada pelo departamento de Máquinas e Motores.

Tabela 4 Famílias de Produtos do Departamento de Máquinas e Motores

Família de Produtos	Classe	Porcentagem de Venda	Amostra	Unidade	Volume (m³)
Torno	A	19,72%	24	Unidade	3,12
Fresadora	A	17,42%	22	Unidade	5,7
Compressor	A	6,15%	63	Unidade	0,65
Serra Fita	A	5,99%	27	Unidade	1,47
Furadeira	A	4,65%	46	Unidade	0,64
Motor	A	4,38%	109	Unidade	0,05
Retífica	A	3,99%	10	Unidade	13,65
Lavadora	A	3,96%	54	Unidade	0,1
Prensa	A	2,74%	19	Unidade	10,46
Guilhotina	A	2,22%	14	Unidade	11,86
Motobomba	B	1,00%	93	Unidade	0,01
Redutor	B	0,17%	23	Unidade	0,02
Motofreio	B	0,14%	10	Unidade	0,07
Aspirador	B	0,12%	9	Unidade	0,42
Exaustor	B	0,11%	11	Unidade	0,11
Acoplamento	C	0,03%	13	Unidade	0,0005
Flange	C	0,03%	29	Unidade	0,01
Elemento Elástico	C	0,03%	15	Unidade	0,03
Flexível	C	0,02%	9	Unidade	0,001
Selo Mecânico	C	0,02%	11	Unidade	0,01

5.2.2 Localização e Capacidade dos Fornecedores

A tabela 5 apresenta a localização dos fornecedores para cada família de produtos. Deve-se salientar que, segundo o gerente de logística, não há restrições quanto à capacidade dos fornecedores em relação aos produtos demandados. Desta forma, pode-se considerar o estudo de caso como capacidade infinita, de modo que não há grandes distorções de análise através do modelo de localização no plano que apresenta esta restrição. Com relação ao algoritmo de otimização, foram adotados, como capacidade de fornecimento, valores superiores aos demandados para representar a realidade da cadeia em estudo.

Tabela 5 Localização dos Fornecedores do Departamento de Máquinas e Motores

Produto	Localização do Fornecedor	Produto	Localização do Fornecedor		
Torno	Americana - SP Colombo - PR	Guilhotina	Campo Largo – PR Limeira – SP		
Fresadora	Limeira - SP - SP	Motor	Jaraguá do Sul – SC Caxias do Sul – RS		
Serra Fita	Guariba –SP Vinhedo – SP Colombo - PR Ibirama –SC Boituva – SP		Aspirador	Araucária - PR Curitiba - PR São Paulo - SP	
	Compressor	Joinville - SC	Redutor	Bento Gonçalves - RS Sapucaia do Sul - RS	
	Retifica	São Paulo - SP	Exaustor	Colombo - PR Porto Alegre - RS Salvador do Sul Ibirama -SC	
Prensa	Campo Largo - PR Mairiporã - SP Caxias do Sul - RS Carazinho - RS São Paulo - SP São José do Rio Preto - SP Limeira – SP Araras – SP	Motobomba		Porto Alegre - RS Joinville - SC Navegantes - SC São José dos Pinhais - PR	
	Furadeira	Guariba – SP Anchieta - SC Limeira – SP Navegantes - SC Ibirama –SC		Motofreio	Jaraguá do Sul - SC Caxias do Sul - RS
		Lavadora	Joinville - SC Curitiba – PR Londrina - PR Pompéia - SP Paulínia - SP - SP	Acoplamento	São Roque - SP
			Flexível	Flange	Caxias do Sul - RS Jaraguá do Sul - SC
Selo Mecânico				São Roque - SP São José dos Pinhais - PR Barueri - SP São Paulo - SP	

5.2.3 Localização e Capacidade dos Depósitos Existentes e Potenciais

A tabela 6 apresenta os depósitos existentes na rede logística da empresa e suas capacidades de armazenamento.

Tabela 6 Localização e Capacidade dos Depósitos Existentes

Classificação	Município	UF	Capacidade (m³)
Centro de Distribuição	Viamão	RS	110.000
	Itu	SP	48.000
Lojas c/ depósito	Porto Alegre	RS	43.000
	Caxias do Sul	RS	6.000
	Joinville	SC	14.000
	Curitiba	PR	30.400
	São José do Rio Preto	SP	9.000
	Contagem	MG	17.000
	Salvador	BA	7.000

5.2.4 Localização e Demanda dos Pontos de Consumo

Devido ao grande número de configurações de rede a serem avaliados para a solução de um problema prático de localização, torna-se necessária a utilização de técnicas de agregação de dados. De acordo com Simchi-Levi *et al.* (2000), em um estudo de localização de depósitos, os pontos de demanda devem ser agregados de modo que as zonas de mercado tenham aproximadamente o mesmo volume de demanda, independentemente de seus tamanhos geográficos.

Como este estudo trata de uma análise macro, os dados são agregados de modo a limitar as localizações a áreas geográficas amplas. Seguindo a orientação de Simchi-Levi *et al.* (2000), procurou-se agregar as zonas de mercado de modo que tivessem volumes de demanda aproximados. Assim, devido à concentração da demanda na região Sul, nota-se grande diferença entre os tamanhos geográficos das zonas de consumo. Em alguns casos, a demanda de toda uma região foi concentrada em uma única zona, enquanto a de um estado - como o Rio Grande do Sul - foi dividida em diferentes zonas.

Deve-se ressaltar que, em um estudo como este, toda a demanda da zona de consumo deve ser concentrada no seu centro de gravidade, sendo que este pode ser obtido considerando-se as distâncias, as demandas e os tempos, conforme apresentado no Capítulo 3 deste trabalho. Assim, são compensadas possíveis distorções no custo de transporte e distâncias consideradas na análise. Contudo, neste trabalho, o volume demandado por cada zona não foi concentrado em seu centro de gravidade, sendo atribuído à cidade com maior demanda. Justifica-se esta aproximação pois o objetivo deste trabalho não é representar precisamente a cadeia logística existente, e sim comparar os dois modelos apresentados. Devido ao excesso de produtos analisados (20 famílias) e de zonas de consumo, o cálculo do centro de gravidade de cada zona demandaria muito tempo e esforços que não contribuiriam para atingir o objetivo do estudo.

São analisadas, neste estudo, apenas as famílias de produtos selecionadas do departamento de Máquinas e Motores. Desta forma, foi necessária a correção das demandas apresentadas pelas zonas de consumo segundo a porcentagem da capacidade dos depósitos que é destinada ao armazenamento de produtos do departamento analisado. Assim, as demandas foram aumentadas para que ficassem proporcionais à capacidade real dos depósitos. Caso contrário, a capacidade total dos depósitos da rede seria superior à demanda total a ser analisada, sendo considerados necessários, então, um número de depósitos inferior à realidade. Considerou-se também o giro do estoque igual à unidade, ou seja, no período analisado de um ano, o estoque giraria apenas uma vez. Esta é a prática atual da empresa para produtos deste departamento.

Para a correção das demandas das zonas de consumo, foi necessária a elaboração de um fator multiplicativo que correspondesse ao inverso da porcentagem da capacidade dos depósitos que é destinada ao armazenamento de produtos do departamento analisado. No entanto, a empresa não possui este dado para disponibilização. Desta maneira, este valor foi estimado através do seguinte procedimento. Em reuniões com funcionários do setor de logística e de estoques, foram atribuídas notas – na escala de 1 a 10 – para cada um dos departamentos da empresa de acordo com o volume que seus produtos ocupam nos centros de distribuição. Não houve uma variabilidade significativa nas notas atribuídas, sendo as médias encontradas apresentadas na tabela 7. Para a obtenção da porcentagem da capacidade do depósito ocupada pelos departamentos, foi realizada a divisão entre a nota obtida pelo departamento e a soma total das notas.

Tabela 7 Porcentagem da Capacidade de Armazenagem Total para cada Departamento

Departamento	Nota	Porcentagem da Capacidade de Armazenagem Total para cada Departamentos
Máquinas e Motores	10	21%
Corte e Usinagem/ Parafusos e Fixações	5	11%
Ferramentas Elétricas, Pneumáticas e Manuais/ Equipamentos e Consumíveis para Solda / Produtos Químicos Industriais	6	13%
Movimentação de Carga, Tração e Levante/ Instrumentos de Medição	3	6%
Equipamentos para pintura, abrasivos e polimento/	3	6%
Ferramentas Automotivas		
Correias e Mangueiras/ Rolamentos e Mancais	7	15%
Equipamentos e Produtos para construção civil/ Equipamentos para Proteção e Segurança	8	17%
Metais Ferrosos e Não-Ferrosos	4	9%
Material Elétrico	1	2%

5.2.5 Coordenadas Espaciais

Conforme apresentado no Capítulo 4, o programa computacional do Modelo de Localização no Plano Aplicado a Múltiplas Instalações e Múltiplas *Commodities* requer a localização dos pontos de suprimentos (fábricas ou fornecedores), dos depósitos e das zonas de consumo, na forma de coordenadas cartesianas, para o cálculo das distâncias. Em geral, a especificação de localização de pontos na superfície da Terra é efetuada através de coordenadas esféricas (latitude e longitude). Porém, em função das dificuldades envolvidas no tratamento de coordenadas esféricas, sobretudo na área de cálculo diferencial, o modelo de localização de Eilon, Watson-Gandy e Christofides trabalha apenas com coordenadas cartesianas. Como em superfícies esféricas a menor distância entre dois pontos não é uma reta (mas um arco denominado geodésica), a utilização do teorema de Pitágoras para o cálculo de distâncias introduz um erro tanto maior quanto a curvatura da superfície considerada (Leal, 1995).

As coordenadas do centro geográfico dos municípios podem ser facilmente obtidas através do *site* do IBGE (www.ibge.com.br). Assim, é preciso converter as coordenadas terrestres dos municípios (longitude e latitude) em coordenadas cartesianas para a aplicação do Modelo de Localização no Plano Aplicado a Múltiplas Instalações e Múltiplas *Commodities*. Esta conversão é realizada através da seguinte formulação:

$$y = \frac{R \cdot \pi S}{180} \quad (36)$$

$$x = \frac{R \cos(S) \pi W}{180} \quad (37)$$

Onde: S: latitude sul em graus;

W: longitude oeste em graus;

R: raio médio do globo terrestre (6.370 Km).

5.2.6 Meios de Transporte e Custos Associados

A empresa estudo-de-caso não possui frota de distribuição própria, de modo que o transporte de mercadorias é realizado por prestadores de serviços logísticos. Segundo Colin e Fabbe-Costes (1995, apud Novaes, 2004), os operadores logísticos podem ser classificados de acordo com a natureza das atividades prestadas: (i) transporte; (ii) armazenagem de produtos; (iii) manipulação de produtos; (iv) operações industriais; (v) operações comerciais; (vi) serviços de cunho informacional e; (vii) consultoria em engenharia e administração logística. No caso da empresa em estudo, salienta-se que os operadores desempenham o transporte de mercadorias, tanto de fornecedores para os depósitos, destes para os clientes e de transferência entre depósitos. A organização contrata uma transportadora para cada região com base em quesitos como: área de abrangência, flexibilidade de negociação e resolução de problemas, tabela de preços e garantias de processos de qualidade.

O transporte de produtos é efetuado exclusivamente pelo transporte rodoviário, sendo que os custos de frete são fixados através de contratos com as transportadoras. Os custos de transportes de entrada são fixados em taxas por tonelada, enquanto os custos de transporte de saída são estabelecidos como um percentual sobre o valor do produto transportado. Estes

valores são revisados semestralmente e variam de acordo com as características do produto, e com os pontos de origem e de destino. Para a realização deste estudo, a empresa forneceu, em planilhas eletrônicas, estas taxas, os percentuais, os pesos e os valores dos produtos, de modo que foi possível obter os fretes para as diferentes famílias de produtos para cada origem-destino. Estes dados foram necessários para o modelo de otimização, porém, o modelo de localização no plano requer apenas um custo médio do frete para um metro cúbico por quilômetro transportado. Desta forma, de posse dos custos de frete, do volume de cada produto e da distância entre percorrida, calculou-se o custo médio do frete para 1 m³/km transportado, para cada família de produto e para cada origem-destino. Para o valor de análise, foi utilizada a média destes valores. Os resultados encontrados são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 Custos médios de frete para os produtos do Departamento de Máquinas e Motores

Tipo de Transporte	Custo Médio de Frete
Transporte de Entrada	R\$ 0,12/ km*m ³
Transporte de Saída	RS 0,94/ km*m ³

Percebe-se uma diferença entre as tarifas do transporte de entrada e de saída, sendo o frete para o transporte de saída 7,8 vezes superior ao de entrada. Tal fato ocorre porque as cargas transportadas dos fornecedores aos armazéns são maiores, o que possibilita sua consolidação. Ainda, as distâncias do transporte interno são menores, uma vez que a maioria dos fornecedores da empresa está concentrada em São Paulo e o transporte externo é realizado para todo o país.

No programa computacional baseado no modelo de localização no plano, o custo de médio de frete adotado para 1 m³/Km é multiplicado pelo volume do produto transportado e pela distância entre a origem e o destino. Contudo, adota-se a distância euclidiana, desconsiderando, portanto, o percurso viário disponível. Dependendo das características da malha viária da região analisada, esta aproximação pode introduzir erros significativos. Uma alternativa para reduzir tais erros é a utilização de um fator multiplicativo no cálculo das distâncias, de modo que a distância considerada na análise é dada por:

$$d_{ij} = d(i, j) = f \cdot d_e(i, j) \quad (38)$$

com
$$d_e = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{1/2} \quad (39)$$

Onde: d_e é a distância euclidiana entre i e j .

O termo f é o fator de correção, sendo determinado por regressão simples e depende da região em estudo. Para a determinação do fator de correção a ser adotado neste trabalho, foram calculadas as distâncias em linha reta entre 192 pares de origem e destino, espalhados por todo o país. Estes pares foram escolhidos entre as localizações dos fornecedores, depósitos e zonas de consumo da cadeia logística da empresa analisada. De posse dos valores da distância mais curta por rodovia asfaltada (DNIT, 2005) e da distância calculada para cada par origem-destino, realizou-se uma regressão simples, na qual se obteve o fator de correção equivalente a 1,48, que se assemelha ao valor de 1,35 adotado por Novaes em pesquisa para alocação de armazéns coletores em uma micro-região produtora (Novaes, 1995). Assim, no programa computacional baseado no modelo de localização no plano, considerou-se a distância entre dois municípios como o produto do fator de correção f_c (1,48) e da distância em linha reta entre os pontos de origem e destino.

5.2.7 Custos Fixos e Variáveis de Instalação e Operação dos Depósitos

Os custos de armazenagem em um depósito são constituídos por custos fixos e variáveis. Os custos fixos independem da carga de trabalho e ocorrem como as despesas gerais administrativas, as de manutenção das instalações, depreciações, aluguéis, taxas e seguros. Por sua vez, os custos variáveis estão associados à energia, manutenção de equipamentos, obsolescência e perda de produtos, custo de oportunidade sobre o capital investido no inventário etc.

Neste trabalho não será considerado o custo variável de operação dos depósitos. Autores como Aimiri (2004) e Bramel e Simchi-Levi (1997) também não incluem estes custos em seus modelos de análise. Os custos variáveis de operação de depósitos estão associados ao volume total movimentado e ao tipo de produto armazenado. Neste estudo-de-caso, serão analisados vários cenários, cada um associado a uma demanda total fixa para os mesmos tipos de produto. Tal situação, por sua vez, torna fixo o volume total movimentado. Além disto, considera-se que os custos variáveis de operação não variam de acordo com o local onde o depósito será instalado. Assim, torna-se indiferente, em relação a esta parcela do custo logístico, armazenar determinado volume de um produto em um local ou em outro. Por este motivo, o custo variável de operação de depósitos não influencia as decisões de instalações de

depósitos, não sendo, então, considerados nesta análise. Também não serão computados neste trabalho os custos fixos de instalação de centros de distribuição, pois todos os depósitos que serão considerados na análise já existem, conforme será exposto na seção 5.3.

Deve-se ressaltar ainda que, apesar dos custos fixos de operação de depósitos serem independentes do nível de atividade do específico depósito, estes tendem a variar de acordo com a capacidade de armazenamento total e a localização do centro de distribuição, já que a valorização imobiliária, alíquotas de imposto e prêmios de seguro são variáveis entre diferentes regiões. No modelo de otimização, serão adotados os custos médios por capacidade de armazenamento (R\$/m³) apresentados pela empresa nos últimos dois anos, constantes da tabela 9. Com relação ao modelo de localização no plano, foi ajustada uma curva simples do tipo $y=a*x^b$ (onde a variável independente é a capacidade de armazenamento e a variável dependente é o custo fixo de operação do centro de distribuição) aos dados fornecidos pela empresa analisada sobre a operação de seus depósitos nos anos de 2004 e 2005. O ideal seria a obtenção de uma equação para cada ponto de localização, porém a empresa analisada só possui os dados computados para os dois últimos anos, de modo que não há dados suficientes para validá-la. Os valores encontrados para as constantes a e b são 214,27 e 0,893, respectivamente, conforme ilustrado na figura 14. O erro médio para todos os depósitos foi equivalente a 12,3%. Ressalta-se que este tipo de equação também foi adotado por autores como Novaes (1995) e Leal (1995).

Tabela 9 Custos Fixos dos Depósitos Existentes

Classificação	Município	UF	Custo Fixo (R\$/m³)
Centro de Distribuição	Viamão	RS	71
	Itu	SP	40
Lojas c/ depósito	Porto Alegre	RS	52
	Caxias do Sul	RS	41
	Joinville	SC	148
	Curitiba	PR	150
	São José do Rio Preto	SP	140
	Contagem	MG	50
	Salvador	BA	99

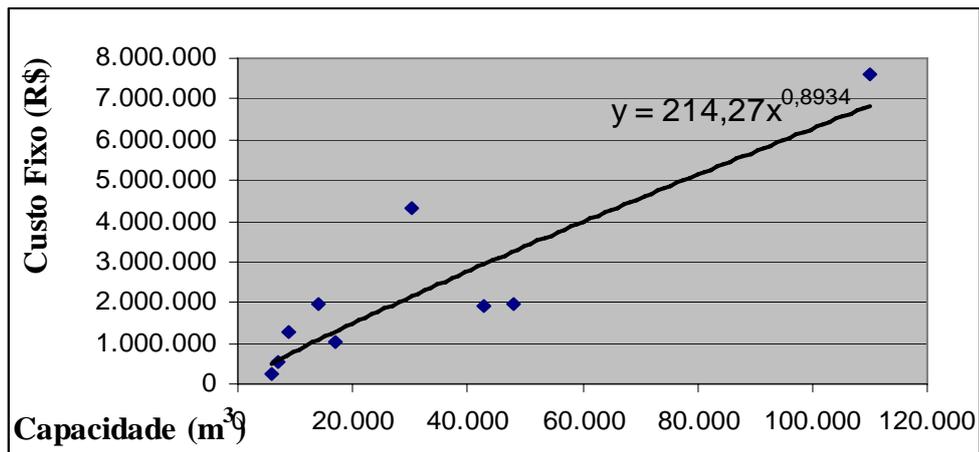


Figura 14 Gráfico Capacidade x Custo Fixo de Operação do Depósito

5.3 FASE DE ANÁLISE INICIAL

Conforme exposto no Capítulo 4, a fase de análise inicial engloba as seguintes etapas: (i) Escolha dos Potenciais Pontos de Localização de Depósitos; (ii) Construção do Modelo; (iii) Calibração e Validação do Modelo; e (iv) Análise de Sensibilidade e de Cenários.

Com base na rede existente, nos objetivos do estudo e em características qualitativas, levantam-se, com o apoio da equipe da gerência de logística, os potenciais pontos para a localização de depósitos. Neste trabalho, serão analisados apenas os depósitos existentes, pois, segundo o gerente de Logística, a empresa não tem interesse em investir no aumento do número de depósitos nos próximos 5 anos. Será considerado, então, o possível fechamento de algum dos centros de distribuição existentes e variações em suas capacidade – reduções e aumentos de 20%. Os cenários serão analisados para as famílias de produtos do departamento de Máquinas e Motores. Estes serão aplicados nos dois modelos para a localização de depósitos desenvolvidos, de modo que a análise dos resultados obtidos permita uma efetiva comparação entre as duas ferramentas.

Serão definidos também experimentos que permitam a avaliação da sensibilidade dos resultados gerados a mudanças nos diversos parâmetros de custo e de volume considerados. Esta análise de sensibilidade é necessária para verificar possíveis erros introduzidos na determinação dos parâmetros, decorrentes de simplificações e incertezas, e pelo próprio comportamento dinâmico do mercado e das práticas operacionais das empresas. Os

experimentos a serem analisados consistem em variações de $\pm 20\%$ nos valores adotados para: (i) volume demandado pelas zonas de consumo; (ii) custo fixo de operação de depósitos; (iii) custo de transferência; e (iv) custos de distribuição.

A etapa de desenvolvimento dos modelos de análise já foi descrita no Capítulo 4 deste trabalho. Porém, a calibração e a validação destes modelos só foram possíveis após a fase de planejamento e da escolha da localização dos depósitos que serão analisados. Nesta etapa, foram revisadas as suposições adotadas. Buscou-se identificar eventuais erros na tabulação de dados, nas simplificações adotadas e no design do fluxo da cadeia.

5.4 FASE DE IMPLEMENTAÇÃO

De posse de todos os dados necessários, devidamente calibrados e tabulados, com os modelos prontos para serem utilizados e, uma vez definidos os experimentos a serem analisados, passa-se à fase de implementação. Esta é seguida pela etapa final de análise dos resultados, que será descrita no Capítulo 6 deste trabalho.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A fim de evitar possíveis erros, os resultados obtidos devem ser minuciosamente analisados. Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da implementação dos modelos descritos no Capítulo 4 deste trabalho.

6.1 ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS OBTIDOS

Apesar de a empresa analisada possuir dez departamentos, considerou-se, neste estudo, apenas o departamento de Máquinas e Motores que, devido ao alto valor agregado de seus produtos, apresenta a maior contribuição de venda em valor e a menor porcentagem de venda em volume. Conforme exposto na seção 5.2.4, procurou-se corrigir esta limitação através da aplicação de um fator multiplicativo às demandas das zonas de consumo. Entretanto, para que o resultado obtido representasse com precisão a situação da empresa analisada seria necessário considerar os principais produtos de todos os departamentos. Porém, este não é o objetivo principal deste trabalho que se propõe a analisar os modelos apresentados utilizando-se a mesma base de dados.

Ressalta-se que, em geral, houve uma grande variação entre os resultados obtidos pelos programas. Esta variação – exposta nos itens seguintes – pode ser explicada devido às diferenças nos algoritmos propostos, nos dados de entrada e às aproximações listadas no capítulo 5 deste trabalho. O modelo de Eilon, Watson-Gandy e Christofides (1971) apresenta uma série de limitações, expostas no capítulo 4, que não se enquadram ao modelo de otimização. O algoritmo de localização no plano, por exemplo, considera que todos os fornecedores podem suprir as demandas por qualquer produto, além de utilizar distâncias euclidianas em seus procedimentos de cálculo.

No algoritmo de otimização, são considerados na análise apenas os pontos potenciais de localização de depósito e os níveis de capacidade listados. Podem-se analisar, para o mesmo ponto, diferentes níveis de capacidade, porém o algoritmo restringe-se àqueles volumes que foram listados. Já o modelo de localização no plano pode alterar a localização dos pontos listados e não há restrições com relação à capacidade. Esta característica é a principal responsável pela a diferença entre os resultados obtidos pelos dois modelos neste

estudo de caso. Conforme exposto na seção 5.3, para o algoritmo de otimização, foram consideradas variações nas capacidades dos depósitos equivalentes a reduções e aumentos de 20%. Assim, este algoritmo ficou restrito a analisar este cenário, enquanto o modelo de localização no plano, por não apresentar restrições quanto à capacidade, pode analisar outros cenários e optar por um com estoques pulverizados.

Além disto, há diferentes abordagens com relação aos dados de entrada. O modelo de otimização considera os custos de transporte de entrada e de saída para cada unidade de produto, sendo que estes variam para cada família de produtos de acordo com os pontos de origem e destino. No entanto, no modelo de localização no plano, são adotados custos médios de frete por unidade de volume e por quilômetro para o transporte interno e para o externo. Estas taxas de frete são, então, multiplicadas pela distância entre os pontos de origem e destino. Contudo, são consideradas distâncias euclidianas que, apesar de corrigidas por um fator de correção multiplicativo, apresentam distorções com relação às distâncias mais curtas por rodovias asfaltadas.

Há variações ainda quanto ao custo fixo de operação de depósitos considerados pelos diferentes programas. No modelo de otimização, considera-se que tais custos variam de acordo com a capacidade do centro de distribuição e a sua localização. Entretanto, conforme explicado no item 5.2.7, não foi possível adotar este grau de precisão no modelo de Eilon, Watson-Gandy e Christofides. Nesse modelo, os dados fornecidos pela empresa analisada sobre a operação de seus depósitos foram ajustados a uma curva simples, cuja variável independente corresponde à capacidade de armazenamento e a variável dependente é o custo fixo de operação do centro de distribuição.

Salienta-se que, no modelo de localização no plano, o tamanho do conjunto inicial de pontos potenciais para a localização de depósitos deve ser no mínimo três vezes superior ao número ótimo de depósitos para que a solução convirja para o mínimo global do problema (Leal, 1995). Neste trabalho, contudo, o modelo foi aplicado apenas para a rede logística atual, sendo analisados apenas os depósitos existentes, já que, segundo o gerente de Logística, a empresa não tem interesse em investir no aumento do número de depósitos nos próximos 5 anos.

6.2 SOLUÇÃO DO CASO BASE

O caso base consiste no experimento descrito no capítulo 5 deste trabalho. Atualmente, a cadeia de suprimentos da empresa-caso é composta por nove depósitos pulverizados em todo território nacional, sendo que a localização e a capacidade destes depósitos constam na tabela 11. De acordo com o modelo de otimização e com as premissas adotadas, o sistema de distribuição ideal para empresa analisada seria composto por dois depósitos, localizados em Porto Alegre e em Contagem, com capacidades de armazenagem de 34.400 m³ e 13.600 m³, respectivamente. Em relação ao sistema atual, as modificações propostas incluem o fechamento de sete bases espalhadas pelo Brasil. A configuração obtida apresenta um custo logístico total de R\$ 14.580.440,00, sendo que 81% deste valor é o custo de transporte (de transferência e distribuição).

Através da implementação do modelo de localização de Eilon, Watson-Gandy e Christofides para as mesmas premissas, tem-se que o sistema ideal seria composto por nove depósitos, conforme apresentado na tabela 10. A tabela 11 apresenta os potenciais pontos de localização utilizados na análise e suas coordenadas. A configuração obtida apresenta um custo logístico total de R\$ 7.955.322,00, sendo que 49,76% deste total é o custo fixo de operação dos depósitos, 9,81% o custo de transporte interno e 40,43% o custo de transporte externo. Nota-se a existência de uma variação de aproximadamente 80% entre os resultados obtidos pelos diferentes modelos. As razões para tais variações já foram discutidas na seção 6.1.

Tabela 10 Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos

Localização do Depósito		Capacidade de
Coordenada	Coordenada	Armazenamento
x	y	(m³)
4907	-3560	5325
4735	-2593	6007
4943	-3285	9430
5185	-3008	5337
4877	-2952	8654
5143	-2923	8936
5126	-2278	1891
4564	-2174	1648
4156	-1399	2059

Tabela 11 Potenciais Pontos e Localização dos Depósitos (Dados de Entrada)

Classificação	Município	UF	Localização	
			Coordenada x	Coordenada y
Centro de Distribuição	Viamão	RS	4.909.364	-3.340.349
	Itu	SP	4.980.994	-2.479.347
	Porto Alegre	RS	4.922.598	-3.337.092
	Caxias do Sul	RS	4.964.470	-3.235.320
Lojas c/ depósito	Joinville	SC	4.839.317	-2.910.804
	Curitiba	PR	4.943.354	-2.807.676
	São José do Rio Preto	SP	5.126.392	-2.278.149
	Contagem	MG	4.610.559	2.176.332
	Salvador	BA	4.156.270	-1.398.790

Analisando os resultados obtidos, verifica-se o custo de transporte (de transferência e de distribuição) para a solução encontrada pelo modelo de localização no plano representa 50,24% do custo logístico total, enquanto que, para a configuração obtida pelo modelo de otimização, esse representa 81% do total. Como a configuração encontrada pelo modelo de localização no plano apresenta estoques mais pulverizados, o custo de transporte – interno e externo – para a solução deste modelo tem menor impacto em relação ao custo logístico total que para a solução do modelo de otimização.

Ressalta-se que, além dos custos logísticos, número e localização dos depósitos, ambos os modelos também fornecem outros dados de saída sobre a configuração da rede, tais como: quais fornecedores abastecem os depósitos, quais os volumes fornecidos e quais as zonas de consumo são abastecidas pelos depósitos.

6.3 VOLUME DEMANDADO PELAS ZONAS DE CONSUMO

Ao variar o volume demandado pelas zonas de consumo entre $\pm 20\%$, percebe-se que o custo logístico total tende a variar nesta mesma proporção. Este resultado já era esperado, uma vez que o custo logístico total é diretamente proporcional ao volume demandado, conforme pode ser verificado nas equações 23 e 35, apresentadas no capítulo 4, que representam a função objetivo. Na tabela 12 são expostos os custos logísticos obtidos através dos modelos estudados para os diferentes cenários e suas variações percentuais.

Tabela 12 Relação entre o Custo Logístico Total e o Volume Demandado

Cenário	Modelo de Otimização		Modelo de Localização no Plano	
	Custo Logístico Total	Percentual de Variação	Custo Logístico Total	Percentual de Variação
Caso Base	R\$ 14.580.440,00	-	R\$ 7.955.322,00	-
Acréscimo de 20% no volume demandado	R\$ 17.781.650,00	1,22	R\$ 9.452.032,00	1,189
Redução de 20% no volume demandado	R\$ 11.863.620,00	0,81	R\$ 6.442.961,00	0,81

A solução encontrada pelo modelo de otimização para o cenário de demanda acrescida constitui-se em um depósito localizado em Porto Alegre, com capacidade de 51.600 m³. A configuração ótima para o cenário com demanda reduzida também é composta por apenas um depósito localizado em Porto Alegre, porém com capacidade de 34.400 m³. Nota-se que em ambas as configurações não incluem a instalação de um depósito em Contagem como a solução para o caso ótimo. Com o decréscimo da demanda, o volume a ser transportado e armazenado é reduzido, de modo que apenas um centro de distribuição em Porto Alegre com capacidade de 34.400 m³ é suficiente para atender à demanda das zonas de consumo. Por sua vez, a solução para o cenário de demanda acrescida constitui-se em um depósito em Porto Alegre com capacidade de 51.600 m³, valor superior à soma das capacidades dos dois depósitos obtidos como solução ótima para o caso base. Com relação ao modelo de localização no plano, tem-se que a solução ideal é a manutenção de nove depósitos para ambos cenários. A localização e as demandas dos centros de distribuição para cada cenário são apresentadas na tabela 13.

Tabela 13 Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para Demanda Variável

Localização do Depósito		Capacidade de Armazenamento (m ³)	
X	Y	Cenário com Demanda Acrescida	Cenário com Demanda Reduzida
4907	-3560	6390	4260
4735	-2593	7209	4806
4943	-3285	10116	6744
5185	-3008	6404	4269
4877	-2952	10384	6923
5143	-2923	10723	7149
5126	-2278	2270	1513
4564	-2174	1978	1319
4156	1399	2470	1647

6.4 CUSTO FIXO DE OPERAÇÃO DOS DEPÓSITOS

Este experimento consiste em variações de $\pm 20\%$ nos valores adotados para o custo fixo de operação dos depósitos. Verifica-se que o custo logístico total é diretamente proporcional ao custo fixo de operação dos depósitos. Contudo, os resultados tendem a variar em proporções diferentes para os modelos. Este resultado já era esperado, uma vez que o custo de transporte – interno e externo – tem maior impacto em relação ao custo logístico total em configurações onde os estoques estão mais pulverizados. Na tabela 14 são expostos os custos logísticos obtidos através dos modelos estudados para os diferentes cenários e suas variações percentuais.

Tabela 14 Relação entre o Custo Logístico Total e o Custo Fixo de Operação de Depósitos

Cenário	Modelo de Otimização		Modelo de Localização no Plano	
	Custo Logístico Total	Percentual de Variação	Custo Logístico Total	Percentual de Variação
Caso Base	R\$ 14.580.440,00	-	R\$ 7.955.322,00	-
Acréscimo de 20% no Custo Fixo de Operação de Depósitos	R\$ 15.269.010,00	1,05	R\$ 8.732.131,00	1,09
Redução de 20% no Custo Fixo de Operação de Depósitos	R\$ 14.251.230,97	0,97	R\$ 7.560.669,00	0,95

Para o cenário de maior custo fixo de operação dos depósitos, tem-se que a configuração de custo mínimo, obtida através do modelo de otimização, consiste em um centro de distribuição em Porto Alegre com capacidade de armazenagem equivalente a 43.000 m³. Para o cenário de custo fixo de operação reduzido, este modelo indica como solução a manutenção de três depósitos localizados em Porto Alegre, Caxias do Sul e Contagem. Estes centros de distribuição apresentariam, respectivamente, capacidades de armazenagem de 34.400 m³, 4.800 m³ e 13.600 m³. Conforme esperado, a redução do custo fixo de operação dos depósitos implica um maior número de centros de distribuição. Corroborando esta afirmação, tem-se que a solução para o cenário, cujo custo fixo de operação de depósitos é nulo, equivale a nove centros de distribuição, localizados em: Salvador (com capacidade de 8.400 m³), Curitiba (30.400 m³), Joinville (14.000 m³), Porto Alegre (51.600 m³), Itu (48.000

m³), Contagem (20.400 m³), São José do Rio Preto (10.800 m³), Viamão (132.000 m³) e Caxias do Sul (7.200 m³).

Com relação ao modelo de localização no plano, tem-se que a solução ideal é a manutenção de nove depósitos para ambos cenários. A localização e as demandas dos centros de distribuição para cada cenário são apresentadas na tabela 15.

Tabela 15 Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo Fixo de Operação de Depósitos Variáveis

Localização do Depósito		Capacidade de Armazenamento (m³)	
X	Y	Cenário com Custo Fixo de Operação Acrescido	Cenário com Custo Fixo de Operação Reduzido
4907	-3560	5325	5325
4735	-2593	6007	6007
4943	-3285	8430	5703
5185	-3008	5337	2727
4877	-2952	8654	8654
5143	-2923	8936	14273
5126	-2278	1891	1891
4564	-2174	1648	1648
4156	1399	2059	2059

6.5 CUSTO DE TRANSFERÊNCIA

As oscilações de $\pm 20\%$ nos valores adotados para o custo de transferência acarretam em variações no custo logístico total. A tabela 16 apresenta os custos logísticos obtidos através dos modelos estudados para os diferentes cenários e suas variações percentuais. Estes resultados auxiliam na compreensão da relação entre o custo logístico total e o custo de transferência. A configuração ótima obtida para o cenário de custo de transferência reduzido é idêntica à solução do caso base. Porém, para o cenário de custo de transferência acrescido, a solução encontrada pelo modelo de otimização é composta por três depósitos localizados em Porto Alegre, São José do Rio Preto e Contagem, tendo estes as capacidades de 34.400 m³, 7.200 m³ e 13.600 m³, respectivamente. Como a maioria dos fornecedores localiza-se em São Paulo, um centro de distribuição em São José do Rio Preto diminuiria, então, o volume de transporte de entrada. Com relação ao modelo de localização no plano, tem-se que a solução ideal é a manutenção de nove depósitos para ambos cenários. A localização e as demandas dos centros de distribuição para cada cenário são apresentadas na tabela 17.

Tabela 16 Relação entre o Custo Logístico Total e o Custo de Transferência

Cenário	Modelo de Otimização		Modelo de Localização no Plano	
	Custo Logístico Total	Percentual de Variação	Custo Logístico Total	Percentual de Variação
Caso Base	R\$ 14.580.440,00	-	R\$ 7.955.322,00	-
Acréscimo de 20% no custo de transferência	R\$ 15.551.216,00	1,064	R\$ 8.510.409,00	1,069
Redução de 20% no custo de transferência	R\$ 14.470.720,00	0,98	R\$ 7.729.357,00	0,97

Tabela 17 Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo de Transferência Variável

Localização		Capacidade de Armazenamento (m ³)
x	y	Cenário com Custo de Transferência Acrescido e Reduzido
4907	-3560	5325
4735	-2593	6007
4943	-3285	5703
4964	-3235	2727
4877	-2952	8654
5143	-2926	14273
5126	-2278	1891
4564	-2174	1648
4156	-1399	2059

6.6 CUSTO DE DISTRIBUIÇÃO

Através de variações de $\pm 20\%$ nos valores adotados para o custo de distribuição, verifica-se que este é o fator com maior contribuição para o custo logístico total. Conforme pode ser observado na tabela 18, que expõe os custos logísticos obtidos através dos modelos estudados para os diferentes cenários e suas variações percentuais, as oscilações no custo de distribuição são as que geram maiores impactos no custo logístico total, sendo estes dois valores diretamente proporcionais. Percebe-se, ainda, que o impacto deste no custo logístico total é semelhante para os resultados encontrados por ambos os modelos.

Para o cenário com custo de distribuição reduzido, tem-se que a opção com menor custo logístico total seria idêntica à solução do caso base. A melhor configuração, obtida através do modelo de otimização para o cenário de maior custo de distribuição, é composta

por três depósitos localizados em Porto Alegre, Salvador e Caxias do Sul, tendo estes as capacidades de 34.400 m³, 5.600 m³ e 4.800 m³, respectivamente. Com o aumento do custo de distribuição, a configuração ótima passa a incluir um depósito em Salvador. Desta forma, reduz-se a distância a ser percorrida para atender às demandas das zonas de consumo situadas no Norte do país e, com isto, consegue-se obter um menor custo de transporte de saída. Por sua vez, a inclusão de um depósito em Caxias do Sul é justificada pelo fato de que a maior parte dos clientes da empresa situam-se na região Sul. Com relação ao modelo de localização no plano, tem-se que a solução ideal é a manutenção de nove depósitos para ambos cenários. A localização e as demandas dos centros de distribuição para cada cenário são apresentadas nas tabelas 19 e 20.

Tabela 18 Relação entre o Custo Logístico Total e o Custo de Distribuição

Cenário	Modelo de Otimização		Modelo de Localização no Plano	
	Custo Logístico Total	Percentual de Variação	Custo Logístico Total	Percentual de Variação
Caso Base	R\$ 14.580.440,00	-	R\$ 7.955.322,00	-
Redução de 20% no volume demandado	R\$ 17.266.650,00	1,18	R\$ 9.073.024,00	1,15
Acréscimo de 20% no volume demandado	R\$12.197.180,00	0,87	R\$ 7.312.777,00	0,91

Tabela 19 Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo de Distribuição Reduzido

Localização		Capacidade de Armazenamento (m ³)
X	Y	
4907	-3560	5325
4735	-2593	6007
4943	-3285	5703
4964	-3235	2727
4877	-2952	8654
5143	-2927	14273
5126	-2278	1891
4564	-2174	1648
4156	-1399	2059

Tabela 20 Localização Ótima e Capacidade de Armazenamento dos Depósitos para o Cenário com Custo de Distribuição Acrescido

Localização		Capacidade de Armazenamento
x	y	(m ³)
4907	-3560	5325
4735	-2593	6007
4943	-3285	8430
5185	-3008	5337
4877	-2952	8654
5143	-2923	8936
5126	-2278	1891
4564	-2174	1648
4156	-1399	2059

6.7 RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS

As tabelas 21 e 22 apresentam um resumo dos resultados encontrados pelos modelos propostos. Na tabela 21, observa-se o número ótimo de depósitos, sua localização e capacidade para todos os cenários, além da variação do custo logístico total em relação ao custo base. Para o Modelo de Localização no Plano, o número ótimo de depósitos para as soluções de todos os cenários equivale a 9, variando as localizações e volumes, conforme apresentados nos itens anteriores. Por isto, na tabela 22 é exposta apenas a variação do custo logístico total em relação ao cenário base.

Analisando as soluções apresentadas pelo Modelo de Otimização, verifica-se que todas as configurações englobam um depósito em Porto Alegre. Para os diferentes cenários, as configurações com mínimo custo podem englobar ainda depósitos em Contagem, Caxias do Sul, São José do Rio Preto e Salvador. Apenas a solução para o cenário de custo fixo de operação de depósito nulo mantém os nove centros de distribuição existentes. Esta configuração minimiza os custos de transporte de entrada e de saída, porém ela não representa a realidade da rede logística, na qual os custos de instalação e manutenção de depósitos têm grande influência.

Nota-se que, apesar da diferença em termos absolutos dos custos logísticos obtidos pelos dois modelos, a elasticidade entre o custo logístico e os diversos fatores analisados é semelhante. A maior variação ocorre para o cenário cujo custo fixo de operação de depósitos

é acrescido em 20%, sendo esta equivalente a 4,8%. Para ambos os modelos, verifica-se que o custo de distribuição é o fator que mais influencia o custo logístico total.

Tabela 21 Resumo dos Resultados encontrados pelo Modelo de Otimização

Experimentos	Número Ótimo de Depósitos para o Experimento	Localização e Capacidade dos Depósitos	Variação do Custo Logístico Total em relação ao Cenário Base
Caso Base	2	Porto Alegre (34.400 m ³); Contagem (13.600 m ³)	1
Demanda – 20%	1	Porto Alegre (34.400 m ³)	0,81
Demanda + 20%	1	Porto Alegre (51.600 m ³);	1,22
Custo Fixo – 20%	3	Porto Alegre (34.400 m ³); Contagem (13.600 m ³); Caxias do Sul (4.800 m ³)	0,97
Custo Fixo + 20%	1	Porto Alegre (43.000 m ³)	1,05
Frete Transf. - 20%	2	Porto Alegre (34.400 m ³); Contagem (13.600 m ³)	0,98
Frete Transf. +20%	3	Porto Alegre (34.400 m ³); Contagem (13.600 m ³); São José do Rio Preto (7.200 m ³)	1,064
Frete Distr. – 20%	2	Porto Alegre (34.400 m ³); Contagem (13.600 m ³);	0,87
Frete Distr. + 20%	3	Porto Alegre (34.400 m ³); Caxias do Sul (4.800 m ³); Salvador (5.600 m ³)	1,18

Tabela 22 Resumo dos Resultados encontrados pelo Modelo de Localização no Plano

Experimentos	Variação do Custo Logístico Total em relação ao Cenário Base
Caso Base	1
Demanda – 20%	0,81
Demanda + 20%	1,189
Custo Fixo – 20%	0,951
Custo Fixo + 20%	1,098
Frete Transf. - 20%	0,971
Frete Transf. +20%	1,069
Frete Distr. – 20%	0,92
Frete Distr. + 20%	1,15

7 CONCLUSÃO

Este trabalho procurou apresentar uma sistemática de análise para o problema da localização de depósitos. Esta é uma das mais importantes decisões logísticas pois influencia de forma decisiva a composição de custos logísticos e o nível de serviço da operação. Pretende-se fornecer aos profissionais de logística uma ferramenta capaz de auxiliá-los a solucionar as principais questões envolvidas na análise de localização de depósitos.

A metodologia expõe, de forma objetiva, as doze principais etapas que devem ser seguidas em um projeto de otimização da rede logística. Apesar da importância de todas as etapas apresentadas, deve-se frisar a relevância da fase de planejamento, que agrupam os seguintes passos: coleta, agregação e tabulação de dados e escolha da técnica de solução. Cerca de 2/3 do tempo despendido em análises de localização são gastos na aquisição e preparação dos dados, uma vez que, na maioria das empresas, estes não são estruturados devido à falta de sistemas de informação voltados para sua geração (Lacerda, 2004).

Propõem-se dois modelos para análise de localização de multi-depósitos em cadeias com multi-produtos. O modelo de programação linear inteira-mista permite encontrar analisar toda a cadeia logística. Porém, para sua aplicação, é necessária a aquisição de um pacote especializado de otimização. Desta forma, desenvolveu-se também um modelo de localização no plano aplicado a multi-instalações. Esta ferramenta foi implementada em linguagem Pascal 7.0 e necessita de uma menor quantidade de informações. Sua utilização é simples e barata, não sendo necessária a compra de nenhum software. Contudo, esta ferramenta não garante que a solução encontrada seja a ótima global.

A escolha pela aplicação de um dos modelos desenvolvidos para a análise de localização varia de acordo com a precisão desejada para os resultados, com as características da rede e com a disponibilidade de recursos financeiros e de tempo. Estes modelos foram aplicados para a localização de depósitos na rede logística de uma empresa nacional, líder no ramo de suprimentos industriais. Através da comparação dos resultados obtidos, pode-se, então, estabelecer conclusões em relação à sua eficiência, precisão, praticidade e aplicabilidade.

7.1 COMPARAÇÃO ENTRE AS FERRAMENTAS UTILIZADAS

O modelo de localização no plano demonstrou ser um instrumento capaz de auxiliar na análise do problema de localização, permitindo uma avaliação clara dos diferentes *trade-offs* envolvidos na minimização do custo operacional do sistema de distribuição. Principalmente, em relação à análise de como o custo logístico total é afetado por modificações de parâmetros relevantes. O mesmo ocorre com o modelo de otimização. No entanto, a implementação do algoritmo apresentado por Eilon, Watson-Gandy e Christofides (1971) apresenta simplicidade de operação, além de requerer baixo custo e ser passível de gerar uma grande abrangência de resultados.

Ao se comparar os resultados obtidos através das duas ferramentas, nota-se um afastamento da realidade com relação àqueles obtidos pelo modelo de localização no plano. Devido à falta de uma restrição que limite o volume mínimo para a manutenção de um centro de distribuição, as soluções encontradas pelo modelo de localização no plano constituem-se na manutenção de nove depósitos. Esta configuração minimiza o custo de transporte de entrada e de saída, porém, na realidade, não minimizaria o custo logístico total da rede. Neste trabalho, não são considerados os custos de instalação dos centros de distribuição pois estes já existem. No entanto, se estes fossem considerados, não seria tão vantajosa uma configuração com vários depósitos com capacidades muito pequenas espalhados por diversos pontos. Para este caso, seria mais interessante o aluguel parcial de um depósito ou a manutenção do estoque em depósitos públicos do que a manutenção de depósitos próprios. No entanto, o modelo de otimização considera apenas a manutenção de depósitos próprios em sua configuração, o que dificulta a comparação entre os resultados obtidos.

Ainda, o modelo proposto por Eilon, Watson-Gandy e Christofides (1971) funciona como um modelo de simulação, no qual se deve aplicar o modelo repetidas vezes com diferentes conjuntos iniciais em busca da solução ótima global. Segundo Leal (1995), o tamanho do conjunto inicial de pontos potenciais para a localização de depósitos deve ser no mínimo três vezes superior ao número ótimo de depósitos para que a solução convirja para o mínimo global do problema. Neste trabalho, contudo, o modelo foi aplicado apenas para a rede logística atual, sendo analisados os depósitos existentes. Esta decisão baseou-se no fato de que a empresa não tem interesse em investir no aumento do número de depósitos nos

próximos 5 anos. No entanto, esta hipótese básica também influenciou no afastamento da realidade das soluções obtidas.

Apesar de necessitar de maior quantidade de dados e de conhecimentos de ferramentas de pesquisa operacional, o modelo de otimização representou de forma mais precisa a realidade da cadeia logística em estudo. Entretanto, deve-se salientar que, para se realizar uma análise completa de canais de distribuição complexos, as técnicas de otimização requerem grandes intervalos de tempo de processamento. Os avanços obtidos com algoritmos de solução e a velocidade dos computadores possibilitaram um aumento substancial da capacidade de otimização de redes. Contudo, deve-se ressaltar que a programação linear inteira mista requer procedimentos muito robustos. Por isto, muitas vezes requerem a aplicação de decomposições, relaxamentos ou métodos heurísticos para “guiar a programação linear a fim de apresentar o desempenho” desejado (Ballou, 2001). Para problemas muito complexos, recomenda-se que a análise seja iniciada pelo modelo de localização no plano proposto. Assim, os pontos potenciais para a localização de depósitos seriam filtrados e o resultado encontrado nesta primeira análise alimentaria o algoritmo de otimização. Uma vez reduzido o volume de dados de entrada, este problema poderia ser solucionado através do modelo de otimização com um menor tempo de processamento.

7.2 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

O presente trabalho está baseado em um estudo de caso. Como tal, não pode ser generalizado, já que contém dados particulares da cadeia de distribuição analisada. Desta forma, para ser atribuído a outras cadeias, seriam necessárias adaptações.

A principal limitação desta pesquisa é referente ao tipo de instalação avaliada. As técnicas e modelos avaliados são referentes à estratégia de localização de depósitos, de modo que não diz respeito aos diferentes tipos de instalação. Contudo, o procedimento metodológico utilizado nesse estudo pode ser replicado para outros tipos de instalações, uma vez consideradas suas respectivas características e estrutura de custos. Os algoritmos desenvolvidos são versáteis quanto \ sua manipulação, podendo ser adaptados para análises em casos distintos.

O problema em análise referiu-se a um caso simplificado, onde foi analisado apenas um departamento da empresa caso. Para que seja obtida a configuração ótima para o estudo de

caso, esta mesma metodologia deveria ser estendida a todos os departamentos da empresa, em um único modelo de análise. O mais importante deste trabalho é proporcionar ao profissional de logística um instrumento metodológico capaz de fornecer respostas que servirão, no mínimo, como um vetor para as decisões relativas a estrutura da cadeia de suprimentos a serem tomadas.

Os resultados encontrados através de metodologias quantitativas devem ser analisados detalhadamente, uma vez que os modelos são uma simplificação da realidade e seus resultados nem sempre representam a melhor solução para o problema real. As simplificações, previsões e suposições adotadas nestas análises nem sempre representam as situações reais com precisão. No entanto, são incontestáveis os benefícios trazidos pela análise estratégica das redes logísticas. Enfim, a modelagem é uma excelente ferramenta de apoio à decisão que, dentro de certa tolerância, tende a indicar a melhor solução a ser adotada.

Dentre as inúmeras possibilidades de novos estudos com as quais nos deparamos durante a consecução deste trabalho, pode-se citar o desenvolvimento de um modelo analítico baseado em técnicas de simulação, que envolvam restrições quanto aos níveis de serviço, ao tempo de entrega e às diferentes opções de modais para a transferência de produtos. A inclusão de um submodelo de logística reversa tornaria mais precisa a representação da cadeia de suprimentos. Um modelo alternativo poderia ser utilizado inclusive em conjunto com o instrumental apresentado, enriquecendo ainda mais os resultados da análise.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, Antônio Carlos; NOVAES, Antônio Galvão. **Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição Física**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- ALVARES, Ana del Pilar; Ramón, Julio García. **Capítulo de Localización Industrial**. Trabalho de Conclusão da Disciplina de Economía del Transporte (Doutorado em Engenharia de Transportes) Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 1997.
- AMBROSINO, Daniela; SCUTELLÀ, Maria Grazia. Distribution Network: New Problems and Related Models. **European Journal of Operational Research**, Abril 2003.
- AMIRI, Ali. Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure. **European Journal of Operational Research**, Setembro 2004.
- ATKINSON, William. Finding The Right Space in The Right Place. **Logistics Management, Distribution Supplement**, Maio 2004.
- BALLOU, Ronald H. Dynamic Warehouse Location Analysis. **Journal of Marketing Research**, v. 5, p. 272-276, 1968.
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 1993.
- BALLOU, Ronald H.; MASTERS, J.M. Commercial Software for Locating Warehouses and Other Facilities. **Journal of Business Logistics**, v. 5, p. 71-92, 1993.
- BHUTTA, K.S. International Facility Location Decisions: a review of the modeling literature. **International Journal of Integrated Supply Management**, v. 1, n. 1, p. 33-50, 2004.
- BOFFEY, T.B. **Graph Theory in Operations Research**. Londres: McMillan Press, 1984.
- BOWERSOX, Donald; CLOSS, David. **Logística Empresarial, o Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001.
- BRADLEY, Peter. Facing the millenium. **Logistics management & distribution report**, v.37,n.1,1998.
- BRAMEL, Julien; SIMCHI-LEVI, David. **The Logic of Logistics**. Nova York: Springer, 1997.

- BRANDEAU, M.L.; CHIU, S.S. An overview of representative problems in location research. **Management Science**, v.35, n.6, o.645-674, 1989.
- BROOKE, Anthony, KENDRICK, David, MEERAUS, Alexander, RAMAN, Ramah. **GAMS: A User's Guide**. Washington: GAMS Development Corporation, 1998.
- CERVO, A.L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. São Paulo: Makron, 1996.
- CHING, Hong Yuh. **Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada- Supply Chain**. São Paulo: Atlas, 1999.
- CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- CHRISTOPHER, Martin. **A Logística do Marketing**. 2 ed. São Paulo: Futura, 2000.
- CHRISTOPHER, Martin. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Estratégia Para a Redução de Custos e Melhoria dos Serviços**. 1 ed. São Paulo: Pioneira, 1997.
- COUGHLAN, A. T.; SIMONINI, L.; IKEDA, A. **Canais de Marketing e Distribuição**. Porto Alegre: Bookman, 2002.
- CRAINIC, T.G e LAPORTE, G. Planning models for freight transportation. **European Journal of Operational Research**, v. 97, p. 409-438, 1997.
- DRUCKER, Peter. O futuro já chegou. **Revista Exame**: São Paulo, 22 março 2000.
- EFROYMSON, M.A.; RAY, T.L. A branch and bound algorithm for plant location. **Operations Research**, v. 14, p. 361-368, 1966.
- ESPEJO, L.G.; GALVÃO, R.; BOFFEY, B. Dual-based Heuristics for a Hierarchical Covering Location Problem. **Computers & Operations Research**, v.30, p. 165-180, 2003.
- FREITAS, A.; PEREIRA, A.; PORTUGAL, L. **Uma Contribuição ao Projeto da Rede Logística de Biodiesel de Soja**. Recife: XIX ANPET, 2005.
- GANESHAN, Ram; MAGAZINE, Michael; TAYUR, Sridhar. **Quantitative Models for Supply Chain Management**. Boston: Kluwer Academic, 1999.
- GENTRY, Connie. Site Selection for DCs: Transportation and Labor are more critical than real estate. **Chain Store Age**, Maio 2003
- GEOFFRION, A. M.; POWERS, R.F. Twenty Years of Strategic Distribution System Design: An Evolutionary Perspective. **Interfaces**, v. 25, n. 5, p. 105-127, 1995.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Altas, 1993.
- GOLDBARG, M.C., LUNA, H.P. **Otimização Combinatória e Programação Linear**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

GULATI, R., NORHIA, N. & ZAHEER A. Strategic networks. **Strategic management journal**, v.21, 2000.

HAMAD, R.; Gualda, Nicolau. **Modelo para a Localização de Instalações em Escala Global Envolvendo Quatro Elos da Cadeia Logística**. Recife: XIX ANPET, 2005.

HARMON, Roy L. **Reinventing the Warehouse: World Class Distribution Logistics**. Nova York: Free Press, 1993.

HARRISON, Alan; VAN HOEK, Remko. **Estratégia e Gerenciamento de Logística**. São Paulo: Futura, 2003.

HAX, A.C.; CANDEA, D. **Production and Inventory Management**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1984.

HENKOFF, R. Delivering the Goods. **Fortune**, p. 64-78, 28 Nov. 2004.

HENRIOTT, Lisa L. Transforming supply chains into e-chains. **Supply chain management review**, Special global supplement, 1999.

HOFFMAN, William. Location, Location and More: Survey finds wide difference in DC costs. **Traffic World**, Fevereiro 2005.

JAYRAMAN, V. An efficient heuristic procedure for practical-sized capacitated warehouse design and management. **Decision Sciences**, v. 29, p. 729-745, 1998.

KAMINSKI, L. **Proposta de uma Sistemática de Avaliação dos Custos Logísticos da Distribuição Física de Produtos Prontos: o Caso de uma Distribuidora de Suprimentos Industriais**. Porto Alegre: UFRGS, 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

KEEDI, Samir. **Logística de Transporte Internacional**. São Paulo: Aduaneiras, 2001.

KEEFER, K.B. Easy Way to Determine the Center of Distribution. **Food Industries**, v. 6, p. 450-451, 1934.

KLOSE, Andreas; DREXL, Andreas. Facility Location Models for Distribution System Design. **European Journal of Operational Research**, v. 162, p.4-29, 2005.

KOBAYASHI, Shun'ichi. **Renovação da Logística: Como Definir Estratégias de Distribuição Física Global**. São Paulo: Atlas, 2000.

KORPELA, Jukka; LEHMUSVAARA, Antti; TUOMINEN, Markku. Customer service based design of the supply chain. **International Journal of Production Economics**, v. 59, p.135-146, 1999.

KUEHN, A.; HAMBURGER, M. A Heuristic Program for Locating Warehouses. **Management Science**, v. 9, p. 643-666, 1963.

LACERDA, Leonardo. Considerações sobre o Estudo de Localização de Instalações. Dezembro 2004. Disponível em <www.cel.coppead.ufrj.br> Acesso em 06/12/2004.

- LARRAÑAGA, Félix. **A Gestão Logística Global**. São Paulo: Aduaneiras, 2003.
- LEAL, Marcus. **Localização de Depósitos: Um Modelo de Análise Aplicado ao Setor de Distribuição de Combustíveis**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1995. Dissertação (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.
- LEE, Hau L.; BILLINGTON, Corey. Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities. **Sloan Management Review**. Spring, p. 65-73, 1992.
- LEHMUSVAARA, Antti. Transport Time Policy and Service Level as Components in Logistics Strategy: A Case Study. **International Journal of Production Economics**, v. 56, p. 379-387, 1998.
- LOPES, Ricardo Luís, CAIXETA FILHO, José Vicente. Suinocultura no Estado de Goiás: Aplicação de um Modelo de Localização. **Pesquisa Operacional**, vol. 20, n. 2, p. 213-232, Dezembro 2000.
- LOVE, R.F; MORRIS, J.G; WESOLOWSKY, G.O. **Facilities Location: models & methods**. New York: North Holland, 1988.
- LUDWIG, Luciano Madruga. **Modelagem da Cadeia de Suprimentos da Água Mineral como o Modelo de Múltiplos Objetivos**. Porto Alegre: UFRGS, 2001. (Mestrado em Administração), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- MADRUGA, Luciano. **Modelagem da Cadeia de Suprimentos da Água Mineral com o Modelo de Múltiplos Objetivos**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. Dissertação (Mestrado em Administração) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.
- MARTOS, A.C. **Projetos de Redes Logísticas com Consideração de Estoques e Modais: Aplicação de Programação Linear Inteira Mista à Indústria Petroquímica**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2000.
- MASON-JONES, R., TOWILL, D.R. Time compression in the supply chain: information management is the vital ingredient. **Logistics information management**, v.11, n.2,1998.
- MEDINA, A.c. **Modelos para Dimensionamento da Frota e Localização de Embarcações para Atendimento de Acidentes Marítimos**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1996.
- MELO, M.T.; NICKEL, S.; GAMA, F.S. Dynamic Multi-commodity Capacitated Facility Location: A Mathematical Modeling Framework for Strategic Supply Chain Planning. **Computers & Operations Research**, Julho 2004.
- MIEHLE, W. Link-length Minimization in Networks. **Operation Research**, v. 6, p. 232-243.
- MORLOK, E.K. **Introduction to Transportation Engineering and Planning**. Nova York: McGraw Hill, 1978.
- MOSSMAN, F.H.; MORTON, N. **Logistics in Distribution Systems**. Boston: Allyn and Bacon, 1965.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

NOVAES, Antônio Galvão. Panorama Profissional: Evolução da Logística no Brasil. **Transportes**, v. 9, n.1, p.88-95, Maio 2001.

NOVAES, Antônio Galvão; Neto, J.B. **Implantação de armazéns coletores de grãos numa micro-região produtora sobre restrição orçamentária**. São Carlos: IX ANPET, 1995.

PITASSI, Cláudio, MACEDO-SOARES, T.D.L.V.A., The strategic relevance of information technology for the **business to business organization**. In. **BALAS Conference. Proceedings of BALAS conference**. San Diego, Ca: University of San Diego, 2001.

PLUNKETT, Kevin. Warehouse location: Christmas Conundrum. **Focus**, Dezembro 2003.

PORTER, M.E. **Competitive advantage: creating and sustaining superior performance**. Free Press: New York, 1985.

QUINN, J. **The intelligent enterprise**. The free press: New York, 1993.

ROESCH, S. M. A. **Projetos de Estágio e de Pesquisa em Administração: Guias para Estágios, Trabalhos de Conclusão, Dissertações e Estudos de Caso**. São Paulo: Atlas, 1999.

ROSENTHAL, Richard. **A GUMS Tutorial**. Washington: GAMS Development Corporation, 1998.

SABRI, Ehap H.; BEAMON, Benita M. A Multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. **Omega - The International Journal of Management Science**, v. 28, p. 581-598, 2000.

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia Científica: a construção do conhecimento**. 3.ed. Rio de Janeiro: DP&A Editora, 2000.

SCHWARTZ, Beth. Map Out a Site Rout. **Transportation & Distribution**, Novembro 1999.

SHAPIRO, Jeremy. **Modeling the Supply Chain**. Pacific Grove: Duxbury, 2001.

SHINGO, S. **Non stock production**. Productivity press: Cambridge, 1988.

SILVA, Edna Lúcia da.; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Florianópolis: UFSC/PPGEP/LED, 2000, 118 p.

SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY, Philip; SIMCHI-LEVI, Edith. **Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies**. Nova York: McGraw-Hill, 2000.

SPIELBERG, K. Algorithms For the Simple Plant-Location Problem with Some Inside Constrains. **Operations Research**, v. 17, p.85-111, 1969.

STERN, L.W.; EL-ANSARY, A.I.; COUGHLAN, A.T. **Marketing Channels**. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996.

STOCK, J.R. & LAMBERT, D.M. **Strategic logistics management**, Homewood: Richard d. Irwin and Company, 1987.

SYAM, S. A Model and Methodologies for the Location Problem with Logistical Components. **Computer & Operations Research**, v. 29, p. 1173-1193, 2002.

TRAGANTALERNGSAK, S.; HOLT, J.; RONNQVIST, M. An exact method of two-echelon, single-source, capacitated facility location problem. **European Journal of Operational Research**, v.123, p.473-489, 2000.

TRUNICK, Perry. The power of a positive attitude in site selection. **Logistics Today**, Julho 2004.

WALKER, William T. The supply chain- centric enterprise. **Supply chain management review**, summer 1998

WANKE, Peter. Aspectos Fundamentais do Problema de Localização de Instalações em Redes Logísticas. Dezembro 2004. Disponível em <www.cel.coppead.ufrj.br> Acesso em 06/12/2004.

WESTERN, L.; KANTER, H.H. **Optimal Location-Allocation**. Illinois: Illinois Institute of Technology, 1958.

APÊNDICE I - LISTAGEM DO PROGRAMA DE LOCALIZAÇÃO NO PLANO

Program Localizacao {\$G+}{\$N+};

Uses crt, dos;

(***Constantes e variaveis***)

Const max=250; (*numero maximo de vases e clientes no sistema*)

 precisao=100; (*Diferencas de custo inferiores a este valor sao consideradas nulas*)

Type vetor=record

 x,y:real

 end;

 Nome=string[25];

 Local=array[1..max] of vetor;

 demanda=array[1..max] of real;

 fornec=array[1..max] of integer;

 lista=array[1..max] of nome;

 demandaprod=array[1..50,1..50] of real;

Var nbp,nbs,ncl,np,nclp,(*numero de bases primarias, secundarias,clientes, produtos e numero de clientes vezes produtos*)

 i,j,n,k, (*variaveis auxiliares*)

 ba, (*numero de bases ativas no sistema*)

 int_i:integer; (*numero de iteracoes efeturadas pelo algoritmo*)

 cmunic:longint; (*codigo dos municipios*)

 first:boolean; (*variavel auxiliar-assume valor true para primeira iteracao do algoritmo*)

 bp,bs,cl, (*localizacao das bases primarias,secundarias e clientes*)

 bs_1, (*localizacao das bases secundarias na iteracao anterior*)

 bsn_1:local; (*localizacao otima das bases secundarias para nbs+1*)

 dmax,dtot,dclt, (*demanda maxima e demanda total das bases secundarias*)

 nmin, (*numero minimo de bases necessarias para atender restricoes de demanda*)

 cini, (*custo total para o sistema inicial*)

 ctbp,ctbs, (*custo de transferencia e distribuicao*)

```

alfa,beta,      (*parametros alfa e beta da funcao custo de operacao das bases*)
ctot,          (*custo total do sistema*)
ctot_1,        (*custo total do sistema na iteracao anterior*)
ctotn_1,       (*custo total minimo do sistema para nbs+1*)
d:real;
base_p,base_s,clientes,custos,produtos,demprod, (*arquivos de entrada*)
aloc,loc,cint,cdec:text;      (*arquivos de saida*)
v,            (*volume do produto em m3*)
dbp,dbs,dcl,  (*demanda das bases primarias,secundarias e clientes*)
dbs_1,        (*demanda das bases secundarias na iteracao anterior*)
dbsn_1,       (*demanda otima das bases secundarias para nbs+1*)
dclpr,c,pr,   (*demanda cliente produto auxiliar,cliente,produto*)
cfbs :demanda;      (*custo fixo de operacao das bases*)
dclk:demandaprod; (*demanda do cliente i por produto k*)
sbs,          (*armazena indice da base prim. que atende cada base sec*)
scl,          (*armazena indice da base sec que atende cada cliente*)
sbs_1,scl_1,  (*idem para a iteracao anterior*)
sbsn_1,scln_1:for nec; (*idem para a solucao otima com nbs+1*)
nome_cl,nome_produto:lista; (*nome dos municipios e produtos*)
hora,min,seg,cseg:word; (*tempo de processamento*)

```

(**Funcoes e procedures**)

```

function pot(x,y:real):real; (*calcula x^y*)
begin
  if x<>0.0 then
    pot:=exp(y*ln(x))
  else
    pot:=0
  end;
function dist(l1,l2:vetor):real; (*calcula a distancia entre l1 e l2*)
var d:real;
begin
  d:=sqrt(sqrt(l1.x-l2.x)+sqrt(l1.y-l2.y));
  if (d<0.1) then
    dist:=0.1

```

```

    else
        dist:=d
    end;

```

```

function fbp(i,j:integer):integer; (*retorna 1 se existe fluxo entre bp[i] e bs[j] e zero caso contrario*)

```

```

    begin
        if sbs[j]=i then
            fbp:=1
        else
            fbp:=0
        end;

```

```

function fbs(i,j:integer):integer; (*retorna 1 se existe fluxo entre bs[i] e cl[j] e zero caso contrario*)

```

```

    begin
        if scl[j]=i then
            fbs:=1
        else
            fbs:=0
        end;

```

```

function custo:real;(*calcula o custo total do sistema*)

```

```

var i,j:integer;

```

```

    c:real;

```

```

    begin

```

```

        c:=0;

```

```

        for i:=1 to nbs do

```

```

            begin

```

```

                c:=c+cfbs[i]+alfa*pot(dbs[i],beta)+ctbp*dbs[i]*dist(bp[sbs[i]],bs[i]);

```

```

                for j:=1 to ncl do

```

```

                    c:=c+ctbs*dcl[j]*dist(bs[i],cl[j])*fbs(i,j);

```

```

            end;

```

```

        custo:=c;

```

```

    end;

```

```

function x(n:integer):real; (*calcula novo valor para a coordenada x*)

```

```

var i:integer;
  t1,t2,t3,t4:real;
begin
  t1:=0;
  t2:=0;
  t3:=0;
  t4:=0;
  for i:=1 to nbp do
    t1:=t1+ctbp*dbs[n]*bp[i].x*fbp(i,n)/dist(bp[i],bs_1[n]);
  for i:=1 to ncl do
    t2:=t2+ctbs*dcl[i]*cl[i].x*fbs(n,i)/dist(cl[i],bs_1[n]);
  for i:=1 to nbp do
    t3:=t3+ctbp*dbs[n]*fbp(i,n)/dist(bp[i],bs_1[n]);
  for i:=1 to ncl do
    t4:=t4+ctbs*dcl[i]*fbs(n,i)/dist(cl[i],bs_1[n]);

    if(t3+t4)>0 then
      x:=(t1+t2)/(t3+t4)
    else
      x:=0;
end;

```

function y(n:integer):real; (*Calcula novo valor para a coordenada y*)

```

var i:integer;
  t1,t2,t3,t4:real;
begin
  t1:=0;
  t2:=0;
  t3:=0;
  t4:=0;
  for i:=1 to nbp do
    t1:=t1+ctbp*dbs[n]*bp[i].y*fbp(i,n)/dist(bp[i],bs_1[n]);
  for i:=1 to ncl do
    t2:=t2+ctbs*dcl[i]*cl[i].y*fbs(n,i)/dist(cl[i],bs_1[n]);
  for i:=1 to nbp do

```

```

    t3:=t3+ctbp*dbs[n]*fbs(i,n)/dist(bp[i],bs_1[n]);
  for i:=1 to ncl do
    t4:=t4+ctbs*dcl[i]*fbs(n,i)/dist(cl[i],bs_1[n]);
    if(t3+t4)>0 then
      y:=(t1+t2)/(t3+t4)
    else
      y:=0;
    end;
  end;

```

Procedure c_dec; (*calcula e imprime os 3 componentes do custo total*)

```

var i,j:integer;
    ctr,cen,cop,ctot:real;
begin
    ctr:=0;
    cen:=0;
    cop:=0;
    for i:=1 to nbs do
      begin
        cop:=cop+cfbs[i]+alfa*pot(dbs[i],beta);
        ctr:=ctr+ctbp*dbs[i]*dist(bp[sbs[i]],bs[i]);

        for j:=1 to ncl do
          cen:=cen+ctbs*dcl[j]*dist(bs[i],cl[j])*fbs(i,j);
        end;
        ctot:=cop+ctr+cen;
        write(cdec,ctot:9:0,cop:9:0,ctr:9:0,cen:9:0);
        writeln(cdec,100*(cop/ctot):6:2,100*(ctr/ctot):6:2,100*(cen/ctot):6:2);
      end;
    end;

```

Procedure demanbp(bp,bs:local;nbp,nbs:integer;dbs:demanda;var dbp:demanda); (*Calcula a demanda das bases primarias*)

```

var i,j:integer;
begin
    for i:=1 to nbp do
      begin

```

```

        dbp[i]:=0;
        for j:=1 to nbs do
            dbp[i]:=dbp[i]+dbs[j]*fbp(i,j);
        end
    end;
end;

```

Procedure alocabp(bp,bs:local;nbp,nbs:integer;var sbs:fornece); (*aloca bases sec. a bases prim. segundo a menor distancia*)

```

    var i,j,n:integer;
    d:real;
    begin
        for i:=1 to nbs do
            begin
                d:=dist(bp[1],bs[i]);
                n:=1;
                for j:=2 to nbp do
                    begin
                        if dist(bp[j],bs[i])<d then
                            begin
                                d:=dist(bp[j],bs[i]);
                                n:=j;
                            end;
                        end;
                    end;
                end;
            end;
        end;
    end;
end;

```

Procedure alocacl(bs,cl:local;nbs,ncls:integer;var dbs:demanda; dbs_1:demanda;var scl:fornece);

(*aloca clientes as bases sec. segundo menor custo marg*)

```

    var i,j,n,n_1:integer;
    min,cmarg,cmarg_1,ct,ct_1,cmo:real;
    cm:demanda;
    s:fornece;
    first:boolean;
    begin

```

```

for i:=1 to nbs do
  dbs[i]:=0;
  for i:=1 to ncl do
    begin
      n:=0;
      min:=0;
      first:=true;
      for j:=1 to nbs do
        if ((dcl[i]+dbs[j])<=dmax) then
          begin
            if dbs[j]=0 then
              cmo:=0
            else
              cmo:=alfa*(pot(dbs[j]+dbs_1[j],beta)-pot(dbs_1[j],beta))/dbs[j];
              cmarg:=(ctbp*dist(bp[sbs[j]],bs[j])+ctbs*dist(bs[j],cl[i])+cmo);
              if first or (cmarg<min) then
                begin
                  first:=false;
                  min:=cmarg;
                  n:=j;
                end;
            end;
          scl[i]:=n;
          dbs[n]:=dbs[n]+dcl[i];
        end;
      end;
    end;
  end;

```

Procedure quicksort(var loc:local;var dem:demanda;var l:lista; lo,hi:integer);

(*ordena clientes por volume demandado utilizando algoritmo quicksort*)

var

i,j:integer;

x,y:real;

z:vetor;

n:nome;

```

begin
  i:=lo;
  j:=hi;
  x:=dem[(lo+hi)div 2];
  repeat
    while dem[i]>x do
      i:=i+1;
    while x>dem[j] do
      j:=j-1;
    if i<=j then
      begin
        y:=dem[i];
        dem[i]:=dem[j];
        dem[j]:=y;
        z:=loc[i];
        loc[i]:=loc[j];
        loc[j]:=z;
        n:=l[i];
        l[i]:=l[j];
        l[j]:=n;
        i:=i+1;
        j:=j-1;
      end;
    until i>j;
    if lo<j then
      quicksort(loc,dem,l,lo,j);
    if i<hi then
      quicksort(loc,dem,l,i,hi);
    end;
  end;

```

(* rotina principal do programa*)

```

begin
  clrscr; (*inicializacao das variaveis*)
  settime(0,0,0,0);
  ctot_1:=0;

```

```

dtot:=0;
nbp:=0;
nbs:=0;
ncl:=0;
np:=0;
first:=true;
assign(base_p,'a:\base_p.txt');
assign(base_s,'a:\base_s.txt');
assign(clientes,'a:\clientes.txt');
assign(custos,'a:\custos.txt');
assign(produtos,'a:\produtos.txt');
assign(demprod,'a:\demprod.txt');
assign(alloc,'a:\alloc.txt');
assign(loc,'a:\local.txt');
assign(cint,'a:\int.txt');
assign(cdec,'a:\cdec.txt');
reset(custos); (*leitura dos arquivos de entrada*)
    read(custos,ctbp);
    read(custos,ctbs);
    read(custos,alfa);
    read(custos,beta);
    read(custos,dmax);
close(custos);
reset(base_p);
repeat
    nbp:=nbp+1;
    readln(base_p,bp[nbp].x,bp[nbp].y);
until eof(base_p);
close(base_p);
reset(base_s);
repeat
    nbs:=nbs+1;
    dbs_1[nbs]:=0;
    readln(base_s,bs[nbs].x,bs[nbs].y,cfbs[nbs]);
until eof(base_s);

```

```

close(base_s);
reset(clientes);
repeat
    ncl:=ncl+1;
    readln(clientes,cmunic,cl[ncl].x,cl[ncl].y,nome_cl[ncl]);
until eof(clientes);
close(clientes);
reset(produtos);
repeat
    np:=np+1;
    begin
        readln(produtos,v[np],nome_produto[np]);
    end;
until eof(produtos);
close(produtos);
reset(demprod);
repeat
    nclp:=nclp+1;
    readln(demprod,dclpr[nclp],c[nclp],pr[nclp]);
until eof(demprod);
close(demprod);
n:=1;
for i:=1 to ncl do
    begin
        j:=n;
        for k:=1 to np do
            begin
                dclk[i,k]:=dclpr[j];
                j:=j+1;
            end;
        n:=j;
    end;
for i:=1 to ncl do(*calculo da demanda por cliente em m3- volume*)
    begin
        for k:=1 to np do

```

```

    dcl[i]:=dcl[i]+(dclk[i,k]*v[k])
end;
rewrite(cint);
writeln(cint,'nbs':4,'ba':4,'custo':10,'tempo':6);
rewrite(cdec);
writeln(cdec,'nbs':4,'total':9,'oper':9,'transf':9,'entr':9,'op(%)':6,'tr(%)':6,'enc(%)':6);
for i:=1 to ncl do (*Calculo do numero minimo de bases necessarias para atender a
DTOT*)
    dtot:=dtot+dcl[i];
    writeln('dtot',dtot);
    readkey;
nmin:=dtot/dmax;
if frac(nmin)<>0 then
    nmin:=int(nmin)+1;
if nbs<nmin then
    begin
        writeln('numero minimo de bases secundarias >', nmin:6:0);
        readkey;
    end;
quicksort(cl,dcl,nome_cl,1,ncl); (*ordenacao dos clientes por volume demandado*)
repeat (*inicio do processo de minimizacao*)
    int_i:=0;
    alocabp(bp,bs,nbp,nbs,sbs); (*aloca bases prim. as sec., segundo menor dist.*)
    alocacl(bs,cl,nbs,ncl,dbs,dbs_1,scl); (*aloca clientes as bases sec., segundo menor custo
marginal*)
    ctot:=custo; (*funcao calcula custo total do sistema-sistema inicial*)
    if first then (*primeira iteracao*)
        begin
            ctotn_1:=ctot+precisao;
            cini:=ctot; (*custo total do sistema inicial*)
            first:=false;
            writeln('custo inicial:',cini:12:0);
            readkey;
        end;
    repeat (*encontra custo otimo para o numero de bases secundarias igual a nbs*)

```

```

inc(int_i); (*numero de iteracoes efetuadas pelo algoritmo*)
write('nbs:',nbs:2,'-int_i:',int_i:2);
bs_1:=bs; (*localizacao das bases sec. na iteracao anterior*)
dbs_1:=dbs;
sbs_1:=sbs;
scl_1:=scl;
for i:=1 to nbs do
  begin
    bs[i].x:=x(i);
    bs[i].y:=y(i);
  end;
alocabp(bp,bs,nbp,nbs,sbs);
alocacl(bs,cl,nbs,ncl,dbs,dbs_1,scl);
write(ctot:10:0);
ctot_1:=ctot;
ctot:=custo;
writeln(ctot:15:0);
readkey;
until((ctot_1-ctot)<precisao); (*verifica convergencia*)
ctot:=ctot_1;
bs:=bs_1;
dbs:=dbs_1;
scl:=scl_1;
write(cdec,nbs:4); (*calcula e imprime custo decomposto*)
c_dec;
ba:=0;
for i:=1 to nbs do (*verifica numero de bases ativas no sistema*)
  if dbs[i]>0 then
    inc(ba);
    write(cint,nbs:4,ba:4,ctot:10:0);
    gettime(hora,min,seg,cseg);
    writeln(cint,min:3,':',seg:2);
    readkey;
if (ctot<ctotn_1) then (*verifica convergencia*)
  begin

```

```

bsn_1:=bs;
dbsn_1:=dbs;
sbsn_1:=sbs;
scln_1:=scl;
ctotn_1:=ctot;
if (nbs>nmin) then (*verifica e reduz o numero de bases secundarias no sistema*)
  begin
    n:=1;
    d:=dbs[1];
    for i:=1 to nbs do
      if dbs[i]<d then
        begin
          d:=dbs[i];
          n:=i;
        end;
    for i:=(n+1) to nbs do
      begin
        bs[i-1]:=bs[i];
        dbs_1[i-1]:=dbs_1[i];
      end;
    nbs:=nbs-1;
  end
else
  nbs:=round(nmin-1);
end;
until (ctot>ctotn_1) or (nbs<nmin); (*verifica convergencia e nbs*)
nbs:=nbs+1; (*atualizacao das variaveis*)
bs:=bsn_1;
sbs:=sbsn_1;
dbs:=dbsn_1;
scl:=scln_1;
ctot:=ctotn_1;
gettime(hora,min,seg,cseg); (*rotinas de saida*)
close(cint);
close(cdec);

```

```

rewrite(loc);
writeln;
writeln('custo minimo final:',ctot:10:0);
writeln('numero de bases secundarias:',nbs);
readkey;
writeln(loc);
writeln(loc,'*****solucao final*****',50);
writeln(loc);
writeln(loc,'tempo de processamento:',min:2,':',seg:2);
writeln(loc,'numero de bases secundarias:',nbs);
writeln(loc,'custo inicial:',cini:10:0);
writeln(loc,'custo final:',ctot:10:0);
writeln(loc);
writeln(loc,'localizacao otima e demanda':32);
writeln(loc,'x':10,'y':10,'d':10,'bp':5);
for i:=1 to nbs do
  writeln(loc,bs[i].x:10:0,bs[i].y:10:0,dbs[i]:10:0,sbs[i]:5);
close(loc);
rewrite(aloc);
writeln(aloc);
writeln(aloc,'alocacao de clientes':30);
writeln(aloc,'cliente':18,'bs':17);
for i:=1 to ncl do
  writeln(aloc,cl[i].x:10:0,cl[i].y:10:0,',',scl[i]:5);
close(aloc);
end.

```

APÊNDICE II - ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO

A seguir é apresentado o algoritmo implementado computacionalmente em linguagem de otimização GAMS- General Algebraic Modeling System (Brooke *et al.*, 1998), juntamente com o solver XA, através de programação linear inteira mista com relaxação lagrangeana. Ressalta-se que os dados de entrada expostos não são aqueles utilizados no estudo de caso deste trabalho. Devido ao excesso de dados que foram trabalhados, optou-se por apresentar um problema mais simples, porém variando apenas os dados de entrada.

\$Title The Warehouse Location Problem(Warehouse,SEQ=1)

\$Ontext

This problem finds the least cost warehouse location in a logistic distribution chain that meets requirements at markets and supplies at factories.

\$Offtext

Sets

i index set of customers or customer zones

/ sp, recife/

j index set of potential warehouses

/bsb,curitiba/

l index set of plants

/manaus,assuncao/

k index set of products

/p1, p2/

r index set of capacity levels available to the potential warehouses

/1,2/;

Parameters

s(k) volume in m³ of one unit of product k

/ p1 0.5

p2 1 /;

Table $f(r,j)$ fixed cost per year for opening/ operating a warehouse with capacity r in site j

	bsb	curitiba
1	250000	200000
2	350000	300000;

Table $w(i,k)$ demand of product k at retailer i

	P1	P2
sp	130	130
recife	130	130;

Table $q(l,j)$ capacity with level r (in volume) for potential warehouse at site j

	bsb	curitiba
1	350	350
2	350	350;

Table $v(l,k)$ capacity of product k at plant l

	P1	P2
manaus	150	150
assuncao	200	200;

Table $c(l,j,k)$ cost of shipping one unit of product k from warehouse site j to customer i

	bsb.p1	bsb.p2	curitiba.p1	curitiba.p2
manaus	8	16	13	26
assuncao	15	30	12	24;

Table $d(j,i,k)$ cost of shipping one unit of product k from warehouse site j to customer i

	sp.p1	sp.p2	recife.p1	recife.p2
bsb	16	32	17	34
curitiba	14	28	16	32;

Variables

- $y(r,j)$ if a warehouse with capacity r is located at site j
- $x(j,i,k)$ if a retailer i receives product k from warehouse j
- $u(l,j,k)$ amount of products k shipped from plant l to warehouse j
- z total logistic cost;

Positive Variable u ;

Binary Variables y, x ;

Equations

cost define objective function

constrain1(i,k) ensures that each customer-product pair (i-k) is assigned to one warehouse

constrain2(j) guarantees that the total customer demands satisfied by an open warehouse do not exceed the capacity of the warehouse

constrain3(j) ensures that a warehouse can be assigned at most one capacity level

constrain4(j,k) ensures that the total customer demands satisfied by an open warehouse do not exceed the the total shipments to the warehouse from all plants

constrain5(l,k) represents the capacity restrictions of the plants in terms of total shipment to the warehouses;

cost..z=e=sum((l,j,k), (c(l,j,k))*u(l,j,k))+ sum((i,j,k), (0.8*d(j,i,k))*w(i,k)*x(j,i,k))+sum((j,r), f(r,j)*y(r,j));

constrain1(i,k) .. sum(j, x(j,i,k)) =e= 1 ;

constrain2(j) .. sum((i,k), s(k)*w(i,k)*x(j,i,k)) =l= sum(r,q(r,j)*y(r,j));

constrain3(j) .. sum(r, y(r,j))=l=1;

constrain4(j,k) .. sum(i, w(i,k)*x(j,i,k))=l= sum(l,u(l,j,k));

constrain5(l,k) .. sum(j,u(l,j,k))=l=v(l,k);

Model warehouse /all/ ;

Solve warehouse using mip minimizing z ;

Display z.l, u.l, y.l, x.l;;