

PROPOSTA DE UM MODELO MATEMÁTICO PARA O PROBLEMA DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Renata Albergaria de Mello Bandeira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Praça Argentina, 9 - 3º andar, Porto Alegre, RS
renata@producao.ufrgs.br

Luiz Antônio Lindau

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Praça Argentina, 9 - 3º andar, Porto Alegre, RS
lindau@producao.ufrgs.br

Francisco José Kliemann

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Praça Argentina, 9 - 3º andar, Porto Alegre, RS
kliemann@producao.ufrgs.br

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, é proposto um modelo de otimização, baseado em programação linear inteira, aplicado a localização de multi-depósitos em uma cadeia com multi-produtos.

Palavras-Chaves: Programação Linear Inteira; Localização; Depósito; Logística.

Abstract

This paper 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, in such a way that minimize the total inventory and transportation costs. It is introduced a methodological proposal consisted of twelve steps that presents the main stages to be followed in location analysis. A mixed-integer linear programming model applied to multi-plans and multi-commodities is proposed.

Keywords: Integer linear programming; Location; Warehouse; Logistics.

1. INTRODUÇÃO

Mesmo sendo uma das doze maiores economias mundiais, o Brasil tem apresentado uma fraca participação no comércio exterior. De cada U\$ 100,00 transacionados internacionalmente, apenas U\$ 0,80 é fruto da participação do país (Keedi, 2001). Países como os Estados Unidos, Japão e Alemanha, que representam os três maiores PIB, também são os três maiores exportadores mundiais. Desta forma, é evidente a importância do comércio exterior para o crescimento da economia brasileira. Dentre as atividades que formam o comércio exterior, a atividade logística tem se destacado em relação às demais. A logística tem desempenhado um papel fundamental na competitividade das empresas, de modo que, a implementação de melhores técnicas logísticas tem demonstrado ser uma das

mais desafiadoras e interessantes áreas operacionais da administração pública e privada.

A economia mundial está sofrendo grandes transformações devido à globalização. Para sobreviver à nova ordem econômica, as organizações precisam adaptar-se à atual realidade. Diversos autores como Gulati et al. (2000) e Henriott (1999) afirmam que 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 empresas que pretendem aumentar seu potencial competitivo. Empresas líderes americanas, como a Motorola, Proctor & Gamble e a Quaker Oats, estão integrando a cadeia logística de forma agressiva (Ching, 1999).

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. 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. Uma vez definida a quantidade e posicionamento das instalações em uma rede logística, toda a operação de transporte e distribuição dos produtos estará condicionada a esta configuração. Assim, 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. 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.

A estratégia da localização de instalações é uma das responsabilidades básicas da gerência de logística, sendo que, entre as decisões de localização enfrentadas por estes profissionais, aquelas referentes aos depósitos são, em geral, as mais frequentes (Bowersox e Closs, 2001). O objetivo deste trabalho é fornecer uma ferramenta que auxilie os gerentes de logística a solucionar as principais questões envolvidas na estratégia da localização de depósitos, tais como: (i) determinação do número adequado de depósitos; (ii) escolha da localização de cada depósito; (iii) determinação do tamanho e estrutura requerida para cada depósito; (iv) estabelecimento da capacidade nominal de cada depósito; e (v) alocação dos clientes e fábricas a cada um dos diferentes depósitos. Para isto, serão analisadas as técnicas matemáticas, encontradas na literatura, e apresentada uma sistemática de análise para o problema da localização de depósitos. Serão apresentados dois modelos distintos para a localização de depósitos em cadeias logísticas. Cada modelo foi desenvolvido com base em técnicas matemáticas variadas, de modo a permitir uma efetiva comparação entre as diferentes ferramentas, através da análise dos resultados obtidos.

2. ESTRATÉGIA DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

A fixação da quantidade de armazéns, sua localização e capacidade determinam os meios através dos quais os produtos chegam ao mercado. Uma crença muito comum em diversos negócios, conhecida como o paradigma da presença local, é de que a empresa deve possuir muitos armazéns locais para ser bem sucedida e oferecer níveis de serviços adequados (Bowersox e Closs, 2001). O número de instalações a serem construídas, em geral, está relacionado ao tempo de resposta desejado pelos clientes. 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). Desta forma, o número de instalações exigidas é inversamente proporcional ao tempo de resposta. No entanto, avanços nos serviços de transporte e na tecnologia da informação tornaram as datas de entrega mais confiáveis e previsíveis, possibilitaram a redução do tempo de transmissão e processamento de informações, além do monitoramento e rastreamento de veículos e carregamentos. Estes fatores, associados aos custos crescentes de estoques, têm contribuído para a redução do número necessário de armazéns para o atendimento de determinada área de mercado. Com isto, há uma mudança de percepção do tradicional paradigma da presença local (Bowersox e Closs, 2001).

As decisões de localização de centros de distribuição são influenciadas por fatores macroeconômicos, políticos, estratégicos, tecnológicos, competitivos, logísticos, operacionais e de infra-estrutura (Chopra e Meindl, 2003). Hoffman (2005) afirma que, nos Estados Unidos, o custo de instalação de um centro de distribuição pode apresentar grande variabilidade de acordo com o local escolhido devido a diferenças no custo da mão-de-obra empregada para a construção do empreendimento. Contudo, Gentry (2003) considera que a infra-estrutura de transporte e a disponibilidade de mão de obra são os fatores mais relevantes para o processo de localização de depósitos.

Muitas empresas têm desenvolvido estudos de localização de seus depósitos e armazéns 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. 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 Singapura, 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).

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 torna-se crítico. Este tipo de análise visa determinar: (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. 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). Nestes estudos, busca-se minimizar o custo logístico total para um determinado nível de serviço. Contudo, é importante ressaltar que existem outras estratégias disponíveis para a localização de depósitos. De acordo com Bowersox e Closs (2001), existem pelo menos três estratégias alternativas: maximização do serviço, maximização da vantagem competitiva e alocação mínima de ativos. Neste trabalho será dada maior ênfase para a estratégia de menor custo.

2.1. 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 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 gera 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). Desta forma, o estoque médio que representa o impacto combinado do estoque de segurança e do estoque em trânsito tende a aumentar à medida que o número de depósitos é acrescido.

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 (Wanke, 2004). À medida que o número de instalações aumenta, o estoque e, conseqüentemente, os custos de estoque aumentam. Para reduzir estes custos, as empresas tentam consolidar e limitar o número de instalações em sua rede (Chopra e Meindl, 2003).

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 pode-se citar: (i) o modal utilizado para a transferência de mercadorias; (ii) as características da mercadoria transportada; (iii) a distância percorrida e (iv) a 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 1, 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).

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 aluguel, depreciação, taxas e seguros ou construção são considerados fixos, pois são independentes do nível de atividade do depósito. Conforme pode ser verificado na figura 1, os custos de instalação são inversamente proporcionais ao número de instalações.

Considera-se a soma dos custos de estoque, transporte e instalações como o custo logístico total. Conforme pode ser observado na figura 1, à medida que o número de instalações é elevado, este 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 nas receitas proporcionado for superior ao acréscimo dos custos gerados pelas instalações adicionais (Chopra e Meindl, 2003).

O gráfico ilustrado na figura 1 representa dados projetados em um único período de planejamento, porém o problema de localização de depósitos tem um horizonte de planejamento de longo prazo. Uma análise de localização de depósitos mais detalhada, 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 necessário que haja um levantamento minucioso dos dados e informações necessários para a análise. Estas questões são abordadas a seguir.

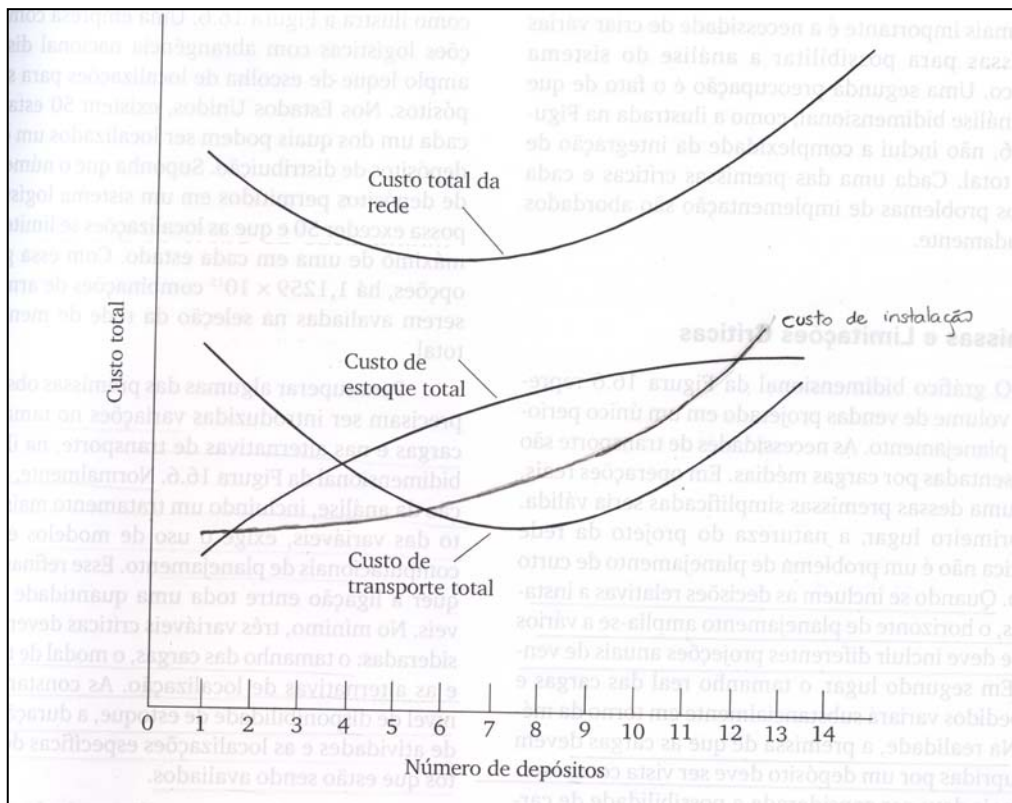


Figura 1: Relação entre o custo logístico total e número de depósitos necessários

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

2.2. DADOS NECESSÁRIOS PARA A 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. TÉCNICAS DE ANÁLISE DA LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

As principais técnicas empregadas na análise da localização de depósitos podem ser subdivididas em quatro grandes grupos: (i) técnicas analíticas; (ii) técnicas de otimização; (iii) heurísticas; e (iv) técnicas de simulação.

3.1. TÉCNICAS ANALÍTICAS

As técnicas analíticas compreendem os métodos que identificam o centro de gravidade de uma rede logística. Esta metodologia, também denominada modelo de localização no plano, pode ser aplicada a uma única instalação ou a múltiplos depósitos.

Os modelos de localização no plano, conhecidos como modelos gravitacionais, consideram a localização de um depósito que recebe matéria-prima dos fornecedores e envia produtos acabados às zonas de consumo. Os mercados e as fontes de suprimentos são considerados como pontos em um plano. Assim, todas as localizações de demanda devem ser marcadas e identificadas no plano de coordenadas (Bowersox e Closs, 2001). 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.

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 até a sua invalidação. 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.

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. Em 1934, Keefer descreveu o modelo gravitacional baseado no peso para o problema de localização de um único depósito e, em 1965, Mossman e Morton desenvolveram o modelo gravitacional baseado no custo de transporte em cada região, que considera o centro de gravidade ponderado pelos diferentes custos de transporte vigentes em cada região. O modelo de localização no plano aplicado a múltiplas instalações é um método iterativo, sugerido por Miehle (1958) e Westner & Kantner (1958), que pode ser aplicado para decisões de localizações de m depósitos. Eilton, Watson-Gandy e Christofides (1971, apud Leal, 1995) basearam-se nesta metodologia para desenvolver um modelo que incorpora, além dos custos de transporte, os custos de operação dos depósitos não lineares e descontínuos.

3.2. TÉCNICAS DE OTIMIZAÇÃO

São procedimentos com capacidade de garantir uma solução matematicamente ótima para o problema de localização. O modelo de otimização tem como objetivo alocar a demanda de mercados diferentes em diversos depósitos para minimizar o custo total de instalações, transporte e estoque (Chopra e Meindl, 2003). Estes métodos incluem 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 (Ballou, 2001).

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). Contudo, para a determinação da localização de centros de distribuição, a programação linear não é a ferramenta mais apropriada, uma vez que considera variáveis contínuas. A decisão de abrir ou não um depósito em determinado local requer a utilização da programação linear inteira, já que se trata de uma variável binária, 1 se o estabelecimento for aberto e 0 caso contrário. Para Bowersox e Closs (2001), a grande vantagem da programação inteira é permitir a melhora da capacidade dos custos fixos e variáveis para as instalações. Ainda, com a aplicação de decomposição às técnicas de resolução de programação linear inteira, é possível a inclusão de múltiplas

commodities no projeto do sistema logístico.

As principais vantagens dos modelos de otimização de redes são a rapidez do tempo de solução e a possibilidade de incorporação de custos fixos para considerar custos de operação de depósitos próprios (Bowersox e Closs, 2001). Dentre as desvantagens, enquadra-se a dimensão dos problemas que podem ser resolvidos. 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.

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.

De acordo com Simchi-Levi et al. (2000), as técnicas de otimização baseada em programação linear inteira apresentam limitações por representarem modelos estáticos, que não consideram mudanças ao longo do tempo. Contudo, a programação dinâmica pode ser empregada para encontrar a configuração ótima ao longo do tempo, mostrando precisamente quando uma mudança para a nova configuração é necessária (Ballou, 2001).

Para solucionar o problema de localização de depósitos através de técnicas de otimização, realiza-se uma grande quantidade 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.

3.3. ALGORITMOS HEURÍSTICOS

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. Em geral, o desenvolvimento de procedimentos heurísticos para problemas reais inclui a programação linear como parte da metodologia da solução. Como já foi visto anteriormente, a programação linear inteira é um procedimento muito robusto. Assim, aplicam-se os métodos heurísticos para guiar a programação linear a fim de apresentar o desempenho desejado.

3.4. TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO

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 (Ballou, 2001). O modelo de simulação tenta descobrir a melhor rede através de aplicações repetidas para as configurações de localizações de depósitos que se deseje avaliar. A qualidade dos resultados obtidos através da simulação varia com a facilidade do usuário em selecionar as instalações a serem analisadas.

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 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. 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

3.5. COMPARAÇÃO ENTRE AS DIFERENTES TÉCNICAS DE LOCALIZAÇÃO DE DEPÓSITOS

Embora possa parecer que as técnicas 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. Tal procedimento faz com que a descrição do modelo não represente fidedignamente o problema real. Assim, a solução ótima 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 aos métodos heurísticos, as soluções ótimas podem apresentar significativas economias de custo ou lucro. Para Lacerda (2004), devem-se utilizar preferencialmente os algoritmos de otimização, pois permitem uma avaliação rigorosa das alternativas operacionais.

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:

1. 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;
2. Utiliza-se um modelo de simulação para avaliar as soluções geradas na primeira etapa, em uma análise micro.

4. SISTEMÁTICA PARA A 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 forma que possa definir os objetivos do estudo e as restrições básicas deste processo.

2. Definição da Equipe Envolvida no Projeto: A equipe deve ser formada por membros que tenham um conhecimento extensivo do negócio e que estejam altamente

motivados e envolvidos no projeto. Os membros escolhidos devem ter experiência na área ou então devem ser guiados por um especialista no assunto. A equipe deve ter acesso a todos os dados necessários, além de ter poder para realizar as decisões necessárias.

3. Coleta de Dados: Esta etapa pode ocorrer simultaneamente aos passos 4 e 6. Haverá a necessidade de coleta de dados numéricos e qualitativos, sendo que a maior parte destes dados podem ser obtidos nos registros da própria empresa. Em geral, é necessária uma trabalhosa investigação para coletá-los, pois, na maioria das empresas, estes dados não são estruturados, já que não existem sistemas de informação voltados para sua geração (Lacerda, 2004). 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.

4. Agregação de dados: Devido ao grande volume de dados envolvidos, é necessário o processo de agregação de dados sobre produtos, mercados, fornecedores, suposições de custos e performance. Clientes e mercados são freqüentemente agregados por local e tipo, tamanho, freqüência dos pedidos, taxas de crescimento e serviços logísticos especiais (Bowersox e Closs, 2001). Os produtos são agregados em famílias de produtos, de acordo com sua semelhança, características de distribuição, locais de produção e canais de distribuição similares são agrupados em estudos de localização. Outro dado indispensável 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.

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 eventuais erros.

6. Escolha da Técnica de Solução: A escolha de uma técnica matemática como auxiliar no estudo 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, características da rede e com a análise a ser realizada (estática ou dinâmica), podem ser empregadas técnicas analíticas, de otimização, heurísticas ou de simulação.

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. Uma metodologia qualitativa que normalmente é utilizada nesta etapa baseia-se no método Delphi, onde, em reuniões com especialistas, levanta-se uma lista de pontos a serem analisados e os principais atributos considerados no estudo de localização de depósitos. Em seguida, são atribuídos pesos a cada um destes fatores de acordo com sua importância. Os especialistas atribuem, então, notas para cada um destes atributos para todos os pontos levantados. Aqueles que obtiverem as melhores notas serão avaliados posteriormente por métodos quantitativos.

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, nas simplificações adotadas ou no design do fluxo da cadeia (Simchi-Levi et al., 2000).

10. Análise de Sensibilidade e de Cenários: Antes de proceder com a aplicação do modelo ao caso estudado, devem ser definidos os experimentos e cenários que permitem avaliar a sensibilidade dos resultados gerados a mudanças nos diversos parâmetros de custos e volume considerados (Leal, 1995). 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 da empresa e pelos demais funcionários. 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 para 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*.

5. MODELAGEM

A literatura reporta diversos artigos sobre o problema da localização e a modelagem de redes de distribuição, 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. O foco deste trabalho é apresentar o desenvolvimento de um modelo estratégico para a localização de depósitos à cadeia de suprimentos, com base na programação linear inteira, no qual os obstáculos citados serão superados, tratando assim o problema de localização de forma mais realista. Em uma fase posterior, a presente metodologia será aplicada a um estudo de caso no setor de suprimento industrial, de modo a estabelecer maiores conclusões em relação à sua eficiência, precisão, praticidade e aplicabilidade.

Justifica-se a escolha pelo modelo de otimização devido a sua capacidade de garantir uma solução matematicamente ótima para o problema de localização e a rapidez do tempo de solução. O objetivo deste modelo é determinar os locais de instalação de depósitos, de forma a se atender às diversas demandas, respeitando-se várias ofertas, e a minimizar os custos de transporte e de 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 para 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 atendida 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 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 estas limitações, 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 àquelas expostas por Bramel e Simchi-Levi (1997), porém não limita o número de instalações a serem localizadas e analisa a abertura de depósitos com diferentes capacidades em um mesmo local. Em seguida, serão expostas a modelagem adotada e as alterações feitas nos modelos originais.

5.1. 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 dos pontos de fornecimento 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

5.2. FUNÇÃO OBJETIVO

Na função-objetivo, representada pela equação 1, tem-se a função custo considerada para o problema de localização de depósitos. Ela minimiza o custo total (Z) da cadeia de suprimentos e é solucionada por programação linear inteira com relaxação lagrangeana.

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

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 o ponto de fornecimento e depósito; (ii) custos de transporte entre depósito e zona de consumo; e (iii) custo fixo e variável de instalação e operação de depósitos.

5.3. RESTRIÇÕES

As equações 2 a 8, apresentadas a seguir, representam as restrições deste modelo.

$$\sum_{j=1}^J X_{jik} = 1 \quad \forall i, \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K s_k w_{ik} X_{jik} \leq \sum_{r=1}^R q_{rj} Y_{rj} \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{r=1}^R Y_{rj} \leq 1 \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I w_{ik} X_{jik} \leq \sum_{l=1}^L U_{ljk} \quad \forall j, \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J U_{ljk} \leq v_{lk} \quad \forall l, \forall k \quad (6)$$

$$Y_{rj}, X_{jik} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (7)$$

$$U_{ljk} \geq 0 \quad \forall l, \forall j, \forall k \quad (8)$$

A equação 2 restringe o abastecimento da demanda de cada zona de consumo por determinado produto a um único depósito. A restrição representada pela equação 3 garante que a demanda das zonas de consumo seja inferior à capacidade dos depósitos abertos, enquanto a equação 4 permite que no máximo um nível de capacidade seja atribuído a cada depósito. A equação 5 assegura que a demanda de por um tipo de produto k atendida por determinado depósito não ultrapasse a quantidade de produtos k fornecidos a este depósito. A equação 6 garante que a quantidade de produtos k distribuída pelo ponto de fornecimento seja inferior à sua capacidade. As restrições representadas pelas equações 7 e 8 apresentam as

variáveis binárias e positivas, respectivamente.

5.4. 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 com relaxação lagrangeana.

6. 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 serviços 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. Ressalta-se que os seis primeiros passos – identificação do problema, definição da equipe envolvida no projeto, coleta, agregação e tabulação de dados e escolha da técnica de solução - podem ser agrupados em uma fase de planejamento. 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. Apesar da importância de todas as etapas apresentadas, deve-se frisar a relevância da fase de planejamento. 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, pois não existem sistemas de informação voltados para sua geração (Lacerda, 2004).

Propõe-se, ainda, um modelo para análise de localização de multi-depósitos em cadeias com multi-produtos. O modelo de programação linear inteira permite encontrar uma solução ótima para o problema, sendo analisada toda a cadeia logística. Porém, para sua aplicação, é necessária a aquisição de um pacote especializado de otimização como o GAMS.

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 tende a indicar, dentro de um intervalo de confiança aceitável, a melhor solução a ser adotada.

A principal limitação da sistemática apresentada se refere ao tipo de instalação avaliada. As técnicas e modelos propostos 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 poderia ser replicado para outros tipos de instalações, uma vez consideradas suas respectivas características e estrutura de custos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALVARENGA, Antônio Carlos; NOVAES, Antônio Galvão. Logística Aplicada: Suprimento e Distribuição Física. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.
- [2] AMIRI, Ali. Designing a Distribution Network in a Supply Chain System: Formulation and Efficient Solution Procedure. European Journal of Operational Research, Setembro 2004.

- [3] BALLOU, Ronald H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- [4] BOWERSOX, Donald; CLOSS, David. Logística Empresarial, o Processo de Integração da Cadeia de Suprimento. São Paulo: Atlas, 2001.
- [5] BRAMEL, Julien; SIMCHI-LEVI, David. The Logic of Logistics. Nova York: Springer, 1997.
- [6] BRANDEAU, M.L.; CHIU, S.S. An overview of representative problems in location research. *Management Science*, v.35, n.6, p.645-674, 1989.
- [7] BROOKE, Anthony, KENDRICK, David, MEERAUS, Alexander, RAMAN, Ramah. GAMS: A User's Guide. Washington: GAMS Development Corporation, 1998.
- [8] CHING, Hong Yuh. Gestão de Estoques na Cadeia de Logística Integrada- Supply Chain. São Paulo: Atlas, 1999.
- [9] CHOPRA, Sunil; MEINDL, Peter. Gerenciamento da Cadeia da Suprimentos: Estratégia, Planejamento e Operação. São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [10] CRAINIC, T.G e LAPORTE, G. Planning models for freight transportation. *European Journal of Operational Research*, v. 97, p. 409-438, 1997.
- [11] GENTRY, Connie. Site Selection for DCs: Transportation and Labor are more critical than real estate. *Chain Store Age*, Maio 2003
- [12] Gulati, R., Norhia, N. & Zaheer A. Strategic networks. *Strategic management journal*, v.21, 2000.
- [13] HARMON, Roy L. Reinventing the Warehouse: World Class Distribution Logistics. Nova York: Free Press, 1993.
- [14] HAX, A.C.; CANDEA, D. Production and Inventory Management. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1984.
- [15] Henriott, Lisa L. Transforming supply chains into e-chains. *Supply chain management review*, Special global supplement, 1999.
- [16] HOFFMAN, William. Location, Location and More: Survey finds wide difference in DC costs. *Traffic World*, Fevereiro 2005.
- [17] JAYRAMAN, V. An efficient heuristic procedure for practical-sized capacitated warehouse design and management. *Decision Sciences*, v. 29, p. 729-745, 1998.
- [18] KEEDI, Samir. Logística de Transporte Internacional. São Paulo: Aduaneiras, 2001.
- [19] KEEFER, K.B. Easy Way to Determine the Center of Distribution. *Food Industries*, v. 6, p. 450-451, 1934.
- [20] KOBAYASHI, Shun'ichi . Renovação da Logística: Como Definir Estratégias de Distribuição Física Global. São Paulo: Atlas, 2000.
- [21] LACERDA, Leonardo. Considerações sobre o Estudo de Localização de Instalações. Dezembro 2004. Disponível em <www.cel.coppead.ufrj.br> Acesso em 06/12/2004.
- [22] 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), COOPEAD Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1995.
- [23] LEE, Hau L.; BILLINGTON, Corey. Managing Supply Chain Inventory: Pitfalls and Opportunities. *Sloan Management Review*. Spring, p. 65-73, 1992.

- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] MIEHLE, W. Link-length Minimization in Networks. *Operation Research*, v. 6, p. 232-243.
- [28] MOSSMAN, F.H.; MORTON, N. *Logistics in Distribution Systems*. Boston: Ally and Bacon, 1965.
- [29] Novaes, Antônio Galvão. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição*. Rio de Janeiro: Campus, 2004.
- [30] Novaes, Antônio Galvão. Panorama Profissional: Evolução da Logística no Brasil. *Transportes*, v. 9, n.1, p.88-95, Maio 2001.
- [31] PLUNKETT, Kevin. Warehouse location: Christmas Conundrum. *Focus*, Dezembro 2003.
- [32] ROSENTHAL, Richard. *A GUMS Tutorial*. Washington: GAMS Development Corporation, 1998.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] SCHWARTZ, Beth. Map Out a Site Rout. *Transportation & Distribution*, Novembro 1999.
- [36] SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY, Philip; SIMCHI-LEVI, Edith. *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies*. Nova York: McGraw-Hill, 2000.
- [37] Walker, William T. The supply chain- centric enterprise. *Supply chain management review*, summer 1998
- [38] 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.