

# Avaliação da logística de distribuição de produtos em uma empresa de e-commerce

Gisele Castro Fontanella Pileggi (UPM) – giselepileggi@mackenzie.com.br  
Renata de Oliveira Rosa (UPM) – renataorosa@yahoo.com.br

## Resumo

Todas as empresas, físicas ou ponto-com, são acometidas diariamente por problemas que envolvem a alocação de veículos e a programação das seqüências de atendimento. Objetiva-se, em geral, melhorar a eficiência dos processos, reduzindo custos e aumentando o nível de serviço oferecido aos clientes. Neste contexto define-se o Problema de Roteirização de Veículos (PRV), que consiste em designar roteiros, iniciando e terminando o percurso em um depósito ou centro de distribuição, respeitando todas as restrições do problema ao menor custo possível. Para resolver este problema métodos heurísticos são utilizados, em função da dificuldade da aplicação de algoritmos exatos em problemas práticos. Um estudo de caso foi realizado em uma empresa física e ponto-com, localizada na cidade de São Paulo, com o objetivo de avaliar seu processo de distribuição. Um modelo matemático para o PRV (BODIN et al., 1983) foi implementado, utilizando a linguagem de modelagem LINGO. As soluções obtidas pela empresa foram comparadas com as obtidas pelo método de Clarke e Wright (1964) e com as soluções obtidas pelo LINGO. Os resultados demonstram a aplicabilidade desses métodos para problemas práticos de pequeno porte.

**Palavras-Chave:** Logística; Comércio eletrônico; Problema de roteirização de veículos.

## Abstract

All enterprises, either physically or virtually established, face, on a daily basis, problems that involve the allocation of vehicles and the schedule for the sequence of their assistance services. In general, the purpose is to improve the process efficiency, thus reducing costs and increasing the quality of the services offered. In this context, it is defined the Vehicle Routing Problem (VRP), which consists of assigning routes, starting and finishing the process in a warehouse or distribution center, considering all the problems' restrictions leading it to the least cost possible. In order to solve this problem, heuristic methods are used, due to the difficulty in applying the exact algorithms to practical problems. A case study was accomplished in a physical and virtual enterprise, located in the city of São Paulo, with the purpose of evaluating its distribution process. A mathematical model for the VRP (BODIN et al., 1983) was implemented, by using the LINGO modeling language. The solutions obtained by the enterprise were compared with the ones obtained by the Clarke and Wright method (1964), and by the solutions obtained by the LINGO. The results demonstrate the applicability of these methods for minor practical problems.

**Keywords:** Logistics; Electronic commerce; Vehicle Routing Problem.

## 1. INTRODUÇÃO

O surgimento de novas tecnologias sempre representou, em toda história da humanidade, um desafio à organização e à evolução das sociedades. A expansão e a popularização do uso de computadores, observadas na última década são, sem dúvida, um dos mais evidentes sinais da influência da tecnologia na vida das pessoas. Com o aparecimento do comércio eletrônico (e-commerce), os consumidores ficaram mais exigentes, com relação à entrega dos produtos, com uma tolerância cada vez menor quanto aos prazos de entrega. Neste contexto, a atividade de distribuição física, que compreende os processos de transferência de produtos, desde o ponto de fabricação até o ponto onde eles serão consumidos, é uma importante área para a diferenciação das empresas, em particular, empresas ponto-com.

As empresas deparam-se todos os dias com problemas de alocar e programar veículos para atendimento de seus clientes. A definição de roteiros que os veículos deverão percorrer, iniciando e terminando a rota em um mesmo local, constitui o problema conhecido na literatura como problema de roteirização de veículos. Este problema pertence à classe NP-hard (GAREY & JOHNSON, 1979 apud BARBOSA, 2005). Devido à dificuldade em resolver de forma exata os problemas de roteirização encontrados na prática, em geral, métodos heurísticos são utilizados. São conhecidos na literatura, diferentes classes de algoritmos para resolver esse problema: métodos de construção de rotas, métodos de duas fases e métodos de melhoria de rotas, entre outros.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o sistema de distribuição de uma empresa com loja física e ponto-com e comparar as soluções obtidas pela empresa, com as obtidas pelo método de construção de rotas de Clarke e Wright (1964) e pela solução obtida pela linguagem de modelagem LINGO (Language for INteractive General Optimization). A formulação matemática utilizada para o PRV está descrita na seção 4.2.

## 2. O COMÉRCIO E AS NECESSIDADES DO CONSUMIDOR

As atividades varejistas podem ser classificadas em varejo com loja, no caso de lojas de departamento e varejo sem loja, por exemplo, nas compras via Internet. Como o consumidor final é o foco básico do varejo, faz-se necessário entender seu comportamento, quais são suas necessidades e quais expectativas impulsionam sua compra.

A partir da segunda Guerra Mundial, o perfil do consumidor começou a mudar. Além do aumento de renda e do anseio por maior diversidade de produtos, as necessidades econômicas e financeiras obrigaram a maioria das mulheres a trabalhar fora do lar, o número de filhos dos casais foi diminuindo, o número de jovens estudantes e pessoas separadas aumentou, assim como o número de pessoas que vivem sozinhas, havendo desta forma uma mudança nas expectativas e preferências de consumo, o que contribuiu para a geração de um novo perfil de consumidor. À medida que esse perfil vai se diversificando e a concorrência vai aumentando, o entrosamento entre os diversos setores da empresa, marketing, compras, distribuição física etc., se torna cada vez mais importante. A tendência do comércio varejista é atender às necessidades dos clientes de forma rápida e customizada, ou seja, a satisfação do cliente é o elemento-chave para todas as mudanças. Com isso, pode-se dizer que o futuro deste comércio está intimamente vinculado à logística, principalmente em termos práticos.

### 2.1. Caracterização do comércio eletrônico

“O comércio eletrônico (CE) é a realização de toda a cadeia de valor dos processos de negócio num ambiente eletrônico, por meio da aplicação intensa das tecnologias de comunicação e de informação, atendendo aos objetivos de negócio”. “É a capacidade de comprar e vender produtos e informações na Internet e

em outros serviços on-line” (ALBERTIN, 2000). O comércio eletrônico teve seu início com a Amazon, que foi fundada em 1994 e inaugurada em julho de 1995, na cidade americana de Seattle, Washington, com o objetivo de ser a maior livraria do mundo (CATALANI et al., 2004).

De acordo com a reportagem, uma década de e-commerce de 31 out. 2004, o uso do e-commerce cresceu em 10 anos de sua existência e continua crescendo mais rápido do que qualquer um havia imaginado. Conforme reportagens da Folha Online de 15 fev. 2005 e 28 mar. 2005, o faturamento das empresas de comércio eletrônico, em 2004, foi de R\$ 1,75 bilhões, que significa um aumento de 47%, em relação a 2003. Entre o período de janeiro de 2001 a janeiro de 2005, o faturamento cresceu 400%. Com relação ao volume financeiro na Internet, a linha de automóveis é responsável por mais da metade, 62,45% (Folha Online de 25 ago. 2005).

O e-commerce tem uma série de vantagens em relação ao comércio tradicional, entre elas, pode-se citar:

- os produtos ou serviços ficam expostos, tanto nacional como internacionalmente;
- agilização das relações entre consumidores e vendedores;
- o registro de informações e as transações dos clientes, por via eletrônica, permitem seu uso posterior no desenvolvimento de novos produtos ou serviços, bem como na definição de novos enfoques mercadológicos.

Apesar das vantagens oferecidas por este comércio, existem alguns problemas, como por exemplo:

- as informações contidas nos cartões magnéticos podem ser utilizadas por terceiros, de forma fraudulenta;
- pelo fato de as informações se tornarem disponíveis mais facilmente, a cópia ilegal das marcas, produtos e serviços é facilitada;
- o comprador não tem um ponto de referência para se dirigir, em caso de dúvida ou necessidade, como no mercado tradicional;
- menor impulsividade na hora da compra.

Os principais tipos de comércio eletrônico são: B2B – Business-to-Business; B2C – Business-to-Consumer (tipo de comércio eletrônico da empresa do estudo de caso, descrito na seção a seguir); B2E – Business-to-Employee; C2C – Consumer-to-Consumer; G2B/B2G – Government-to-Business/Business-to-Government; G2C/C2G – Government-to-Consumer/Consumer-to-Government.

## 2.2. O comércio eletrônico B2C

O comércio eletrônico do tipo B2C se caracteriza pelo estabelecimento de relações comerciais eletrônicas, entre as empresas e os consumidores finais, onde o comprador é uma pessoa física que, a partir de um computador pessoal, realiza suas buscas e adquire um produto ou serviço através da Internet. A disponibilidade de sites que oferecem produtos ou serviços, varia bastante e novas empresas entram no mercado e outras saem constantemente. A oferta de produtos e serviços também varia. Os preços oscilam fortemente, variando em função da concorrência, das ofertas especiais e das oscilações nos níveis de procura.

Como a logística tem o papel de entregar o produto certo, no lugar certo, nas melhores condições possíveis, ao menor custo, um diferencial para as empresas de e-commerce pode se dar, através da logística de distribuição dos produtos. Quanto mais ágeis forem as empresas de comércio eletrônico no atendimento ao cliente, no sentido de tempo de entrega, confiabilidade quanto aos prazos, qualidade do produto entregue, maiores as chances de sucesso.

## 3. O PAPEL DA LOGÍSTICA

Antigamente, a logística era confundida com o transporte e armazenagem de produtos e materiais. Hoje, é entendida por um conceito mais amplo, que engloba a movimentação e distribuição de suprimentos por toda a cadeia produtiva, de forma integrada. A logística envolve diversos setores, tais como: marketing, finanças, controle da produção, vendas e gestão de recursos humanos.

A logística teve sua origem nas operações militares (NOVAES, 2004) e hoje é considerada um elemento importante na estratégia competitiva das empresas. A logística empresarial evoluiu muito, desde seu início, agregando valor de lugar, de tempo, de qualidade e de informação à cadeia produtiva. De acordo com o Council of Logistics Management: “Logística é o processo de planejar, implementar e controlar de maneira eficiente o fluxo e a armazenagem de produtos, bem como os serviços e informações associados, cobrindo desde o ponto de origem até o ponto de consumo, com o objetivo de atender aos requisitos do consumidor” (NOVAES, 2004).

Segundo Merlo (2002), a logística deve monitorar o fluxo de informações que envolvem as atividades e operações incluídas no processo de movimentação, armazenagem, distribuição ou transporte, para atingir o consumidor final. O longo caminho desde as fontes de matéria-prima, passando pelas fábricas dos componentes, pela manufatura do produto, pelos distribuidores e chegando, finalmente, ao consumidor, através do varejista, forma a cadeia de suprimentos. Para isto ocorrer, é preciso interligar todos os parceiros da cadeia surgindo desta forma, a logística integrada. O gerenciamento da cadeia de suprimento (do inglês Supply Chain Management), corresponde à integração dos processos industriais e comerciais, partindo do consumidor final e indo até os fornecedores iniciais, gerando produtos, serviços e informações, que agregam valor para os clientes (NOVAES, 2004).

### 3.1. A logística no comércio eletrônico

A logística no comércio eletrônico B2C está sendo implementada, através de práticas operacionais diferentes, pois as demandas dos consumidores são outras (NOVAES, 2004). Um ponto a considerar, é com relação ao prazo de entrega: para a maioria das empresas ponto-com entregar os produtos, dentro de 24 a 72 horas após a colocação do pedido, não é mais satisfatório. Os clientes exigem cada vez mais rapidez, após a colocação do pedido. Apesar de algumas grandes empresas preferirem um sistema próprio de entregas, a grande maioria opta por utilizar serviços logísticos de terceiros, que podem ser através de empresas de entrega rápida, couriers e transportadoras de cargas fracionadas. Sendo este serviço terceirizado ou não, a distribuição física de produtos é um elemento de fundamental importância para as empresas de e-commerce, sendo determinante para o bom atendimento aos clientes.

De acordo com Merlo (2002), no e-commerce, a logística se caracteriza por um grande número de pequenos pedidos, entregues individualmente, gerando conseqüentemente custos elevados. A venda online tende a aumentar o índice de devolução das mercadorias compradas, pelo fato de o cliente não poder ter o contato físico com os produtos. Com isso, os sistemas logísticos tiveram que efetuar a logística reversa, que já existia nas lojas físicas. Segundo Novaes (2004) os serviços solicitados pelas grandes empresas, aos operadores logísticos, são variados, principalmente no e-commerce, pois estes, além do trabalho de coleta e entrega, estão tendo que armazenar mercadorias, gerenciar estoques, providenciar a embalagem de alguns produtos, entre outras atividades.

### 3.2. A logística de distribuição de produtos

As atividades de movimentação interna, armazenagem e transporte de produtos acabados e semi-acabados constituem atividades do ramo da logística, denominado distribuição física (CUNHA, 1991;

BALLOU, 1993). Essa atividade compreende os processos operacionais e de controle, que permitem transferir os produtos desde o ponto de fabricação até o ponto onde a mercadoria será consumida; isto é, tem como objetivo, levar os produtos certos, para os lugares certos, no momento certo, com o nível de serviço desejado, ao menor custo possível. A distribuição física deve estar estrategicamente interligada às funções de produção, vendas e marketing da empresa.

Segundo Novaes (2004), o sistema de distribuição pode ser dividido em “um para um” e “um para muitos”. Na distribuição “um para um”, também chamada de transferência de produtos, o veículo é totalmente carregado, visando ao melhor aproveitamento possível de sua capacidade. O carregamento do veículo é feito no depósito da fábrica ou num centro de distribuição e transportada para um outro ponto de destino, podendo ser outro centro de distribuição, uma loja ou qualquer outro tipo de instalação. Na distribuição “um para muitos”, ou compartilhada, o veículo é carregado no centro de distribuição com mercadorias, com destino a diversas lojas ou diversos clientes, executando um roteiro de entregas predeterminado. Neste tipo de distribuição, não se consegue, em geral, otimizar o arranjo interno do veículo, pois ele tem que ser carregado na ordem inversa das entregas. Este é o tipo de distribuição física encontrada na empresa, em que foi realizado o estudo de caso.

Segundo Ballou (1993), os custos relacionados à distribuição física estão baseados nos custos de estoque, de transporte e de processamento de pedidos. Os custos de estoque e de processamento de pedidos aumentam, na proporção em que se aumenta o número de armazéns e o custo de transporte mostra um comportamento oposto: diminui conforme aumenta o sistema de distribuição, porque quanto maior for a quantidade de depósitos, mais próximos ficarão dos clientes, minimizando desta forma, o custo. Esses custos conflitantes precisam ser balanceados, com o objetivo de encontrar um custo total ideal.

O transporte para algumas empresas é a atividade logística mais importante, pois representa, em média, entre um terço a dois terços do total de custos logísticos (CUNHA, 1991). Essa atividade é essencial na ampliação da participação das empresas, nos segmentos de mercado que atuam, na diferenciação dos produtos/serviços oferecidos e na obtenção de vantagens competitivas.

Existe uma carência de informações sobre custos logísticos no Brasil, o que dificulta uma comparação com outros países e além disso, a falta de um histórico, acaba inviabilizando a análise da evolução do custo logístico nacional. O Centro de Estudos em Logística (CEL) realizou uma pesquisa sobre custos logísticos no Brasil, buscando números e metodologias que respondessem às principais questões relacionadas ao tema (LIMA, 2006). Um dos resultados obtidos nesta pesquisa, foi com relação ao custo total do transporte rodoviário (doméstico) no Brasil, que em 2004, foi de R\$ 109,2 bilhões. O custo total de transporte (ferroviário, aquaviário, dutoviário, aéreo e rodoviário) no Brasil, neste mesmo ano, foi de R\$ 133,3 bilhões, equivalente a 7,5% do PIB e os custos logísticos em transporte, estoque armazenagem e administrativo no Brasil em 2004 representavam 12,6% do PIB. Resolver o problema de entregas de mercadorias, de forma mais otimizada, contribui para a redução dos custos logísticos das empresas, possibilitando a redução dos prazos de entrega, podendo, desta forma, oferecer um melhor nível de serviço aos clientes.

## 4. O PROBLEMA DE ROTEIRIZAÇÃO E PROGRAMAÇÃO DE VEÍCULOS

Tanto empresas do setor privado quanto do serviço público enfrentam diariamente problemas que envolvem a alocação de veículos e programação das respectivas seqüências e horários de atendimento, com o objetivo de aumentar a eficiência de seus processos, reduzir custos, melhorar o nível de serviço oferecido aos clientes, entre outras, no caso de empresas privadas e maximizar os benefícios públicos para a sociedade, por exemplo, no caso dos serviços públicos.

O problema de roteirização de veículos consiste na definição de rotas, isto é, de seqüências de pontos

de carregamento/descarregamento, que os veículos deverão percorrer, iniciando e terminando o processo em um depósito, ao menor custo possível, atendendo todas as restrições do problema. Se a definição das rotas, além dos aspectos geográficos, envolver aspectos temporais, tal como a restrição de horário de atendimento, nos pontos a serem visitados, o problema passa a ser denominado roteirização e programação de veículos. O problema de programação consiste em definir os instantes de tempo, nos quais cada cliente será atendido.

De maneira geral, os problemas de roteirização e programação de veículos podem ser divididos em três grupos: transporte de passageiros, prestação de serviços e coleta e entrega de carga. Este último grupo (ao qual pertence a empresa, na qual o estudo de caso foi realizado) caracteriza-se pela coleta e/ou entrega de carga dos mais diversos tipos, como: bens duráveis, alimentos, documentos postais, etc. Este problema possui um grande número de aplicações práticas, como por exemplo: distribuição de jornais, manufaturados, bebidas, gás e produtos diversos; transporte escolar; entrega de correspondência, pizza e congelados; serviços de emergência; transporte de bens pessoais (mudanças); roteirização em linhas aéreas, etc.

Os problemas reais de roteirização envolvem decisões, objetivos e restrições. As decisões consistem em alocar um conjunto de veículos a um grupo de clientes, que devem ser visitados e definir a programação e o seqüenciamento dessas visitas. Os objetivos podem ser maximizar o nível de serviço oferecido aos clientes, ao mesmo tempo em que os custos operacionais são minimizados. Com relação às restrições, as rotas devem ser completadas com os recursos disponíveis, respeitando os limites de tempo dos motoristas e as restrições de trânsito, como velocidade máxima, tamanho dos veículos, horário de carga/descarga.

O PRV pertence à classe NP-hard (GAREY & JOHNSON, 1979 apud BARBOSA, J.M.R., 2005), isto é, não se conhece algoritmos exatos de tempo polinomial para sua resolução. Devido à dificuldade de aplicação de métodos exatos, em problemas práticos, em geral, métodos heurísticos são utilizados. Alguns dos principais tipos de métodos heurísticos para a resolução desse problema, são métodos de construção de rotas (utilizados no estudo de caso), métodos de duas fases e métodos de melhorias de rotas.

## 4.1. Métodos de construção de rotas

A maior parte dos métodos de construção de rotas foi desenvolvida a partir do trabalho de Clarke e Wright (1964). Esses autores desenvolveram um método que assume como solução inicial  $n$  rotas, cada uma delas constituída por um único cliente. Avalia-se a economia em termos de distância, que resulta em atender os clientes de cada par de rotas, por uma única rota, unindo essas duas rotas, a partir dos seus nós iniciais ou finais. Uma estratégia gulosa é utilizada para escolha da combinação de rotas que será efetivada, sendo que em cada estágio é escolhida a combinação que resulta na maior economia. Este método permite que, com pequeno esforço computacional, soluções com boas características sejam obtidas. Por outro lado, o acréscimo de restrições, em geral, gera soluções de pior qualidade.

O Método do Vizinheiro mais Próximo é um outro método de construção da solução inicial. Consiste numa heurística gulosa, que parte de um nó inicial (escolhido aleatoriamente) e seleciona o nó com a menor distância do nó corrente, como o próximo a ser visitado. Ao final do procedimento todos os nós estarão roteirizados. O Método da Varredura, por outro lado, obtém a solução inicial em duas etapas. Na primeira etapa, os clientes são agrupados através de um procedimento de varredura e na segunda, esses grupos são roteirizados, através de algum algoritmo para este tipo de problema. As rotas entre os nós serão criadas preferencialmente entre vizinhos (BARBOSA, 2005).

## 4.2. Modelo matemático para o problema de roteirização de veículos

Conforme definido na seção 4, o PRV consiste em definir rotas para uma frota de veículos, cada qual iniciando e terminando em um depósito (identificado pelo índice 0), ao menor custo possível. Os veículos

atendem um conjunto de clientes, que são caracterizados pela sua localização no espaço, demanda e tempo de serviço. A demanda de cada cliente deve ser atendida por exatamente um veículo e a demanda total dos clientes, que fazem parte de uma rota, não deve exceder à capacidade do veículo que fará esta rota. Para todas as rotas, existe um limite total de tempo que inclui os tempos de viagens entre os clientes e os tempos de serviço em cada cliente (BARBOSA, 2005).

Considere a seguinte notação:

$n$	número de clientes a serem visitados por uma frota de veículos heterogêneos;
$nv$	número de veículos $v$ , $v = 1, 2, \dots, nv$ ;
$d_i$	demanda do cliente $i$ , $i = 1, 2, \dots, n$ ;
$t_j^v$	tempo de serviço do veículo $v$ no cliente $i$ , $i = 1, 2, \dots, n$ ;
$t_{ij}^v$	tempo de viagem do veículo $v$ entre os clientes $i$ e $j$ , $i, j = 1, 2, \dots, n$ ;
$K_v$	capacidade do veículo $v$ , $v = 1, 2, \dots, nv$ ;
$c_{ij}^v$	custo de viagem do veículo $v$ entre os clientes $i$ e $j$ ;
$T_v$	tempo máximo de viagem para o veículo $v$ ;

Sejam  $x_{ij}^v$ ,  $i, j = 1, 2, \dots, n$  e  $v = 1, 2, \dots, nv$ , as variáveis de decisão, tais que:

$$x_{ij}^v = \begin{cases} 1, & \text{se entre os clientes } i \text{ e } j \text{ houver uma viagem} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

O objetivo mais utilizado no PRV clássico, é a minimização do comprimento total percorrido por todas as rotas. No problema de roteirização de veículos, com janelas de tempo (uma variante do PRV), objetiva-se também, a minimização do número de veículos. O modelo matemático que contempla os diferentes aspectos do PRV clássico, é expresso pela seguinte formulação (BODIN et al., 1983):

$$\text{Min } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^n c_{ij}^v x_{ij}^v \quad (1.0)$$

Sujeito a:

$$\sum_{v=1}^n \sum_{i=0}^n x_{ij}^v = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.1)$$

$$\sum_{v=1}^n \sum_{k=0}^n x_{jk}^v = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{jk}^v - \sum_{j=0}^n x_{jk}^v = 0, \quad v = 1, 2, \dots, nv; \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^v \leq 1 \quad v = 1, 2, \dots, nv \quad (1.4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{j0}^v \leq 1, \quad v = 1, 2, \dots, nv \quad (1.5)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left( \sum_{j=0}^n x_{ij}^v \right) \leq K_v, \quad v = 1, 2, \dots, nv \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=1}^n t_j^v \sum_{j=0}^n x_{ij}^v + \sum_{j=0}^n t_j^v x_j^v \leq T_v, \quad v = 1, 2, \dots, nv \quad (1.7)$$

$$x_{ij}^v = 0 \text{ ou } 1, \text{ para todo } i, j, v \quad (1.8)$$

$$x \in S \quad (1.9)$$

A função-objetivo (1.0) minimiza os custos totais de transporte. As restrições (1.1) e (1.2) garantem que apenas um veículo chegue ao nó  $j$  e apenas um veículo saia do nó  $j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ), respectivamente. A restrição (1.3) assegura que para um nó  $k$  ( $k=1,2,\dots,n$ ), é o mesmo veículo que chega e que sai deste nó. As restrições (1.4) e (1.5) garantem que um veículo saia e retorne ao depósito (0). As restrições (1.6) e (1.7) asseguram, respectivamente, as restrições de capacidade dos veículos e de tempo total de viagem. Considera-se que a demanda de qualquer cliente  $j$  possa ser atendida por um único veículo. É necessário uma restrição (1.9) para proibir a formação de rotas não contendo o depósito. Para cada veículo  $v$ , são impostas restrições definidas no conjunto  $S$ , definidas por:

$$S = \left\{ x_{ij}^v : \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} x_{ij}^v \leq |Q| - 1 \right\}$$

onde  $Q$  é um subconjunto não vazio  $(1, \dots, n)$  e  $|Q|$  corresponde ao número de nós do conjunto  $Q$ .

## 5. ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE E-COMMERCE

Para ilustração do problema de roteirização na prática, um estudo de caso foi realizado em uma empresa de e-commerce, com loja física e ponto-com. Como em muitas outras empresas que também possuem loja ponto-com, além da física, a primeira funciona mais como um canal de vendas. O estudo consistiu em comparar a roteirização de veículos realizada pela empresa, com os resultados obtidos pelo método de Clarke e Wright (1964) e com a solução encontrada para o modelo descrito na seção 4.2, implementado na linguagem de modelagem LINGO, em termos da distância total percorrida. Nas seções que seguem apresenta-se uma descrição da empresa, os métodos de solução aplicados e os resultados obtidos.

### 5.1. Descrição da empresa

A empresa analisada é uma floricultura que atua no comércio de flores, há quase 50 anos, situada na região sul da cidade de São Paulo. Possui, atualmente, uma única loja física, com frota própria, composta por cinco veículos de capacidades diferentes (frota heterogênea), com a qual faz entrega em toda a capital paulista, todos os dias, até as 00h00. Todos os veículos têm carroceria metálica fechada, tipo baú, de forma a proteger a carga contra o clima e outras intempéries. O número médio de quilômetros percorridos por semana por veículo é da ordem de 350.

Visando proporcionar um bom atendimento para os clientes, as entregas são feitas por período. O período da manhã funciona das 08h00 às 12h00, o da tarde das 12h00 às 18h00 e o da noite das 18h00 às 00h00. Quando o cliente faz um pedido, define-se em qual período a entrega será realizada. Os pontos de entrega situam-se predominantemente na região sul (sede da empresa). A empresa conta, atualmente, com quatro motoristas que trabalham oito horas por dia. Eventualmente, nos períodos de alta demanda, trabalham além do horário e, algumas vezes, faz-se necessário a contratação de motoristas terceirizados.

A roteirização dos veículos é feita pelo gerente de entrega, que define qual a região e quais clientes serão atendidos, ficando a critério do motorista definir o melhor roteiro para as entregas. O motorista tem que conhecer a sua área de entrega e definir o trajeto a ser seguido e a seqüência de entrega das mercadorias. Poder-se-ia pensar que existem várias dificuldades na circulação dos veículos, como: estacionamento não disponível, próximo ao lugar em que se deseja parar, rodízio, congestionamento, entre outros, induzindo modificações na programação de entregas, diminuindo, assim, a produtividade dos veículos e necessitando, muitas vezes, de uma maior frota para a empresa. A única que é realmente relevante, no caso da floricultura, em questão, é o congestionamento, pois produtos com rápida perecibilidade ou de pouca

durabilidade, que é o caso, são suprimidos do rodízio e a entrega, no caso de flores, é bastante rápida.

Até 1997, as vendas da empresa eram feitas diretamente na loja ou pelo telefone. A partir de 1998, a empresa começou a vender também pela Internet. O objetivo do site é que funcione como mais um canal de vendas e também, como um catálogo: quando o cliente quer fazer uma encomenda e não sabe o que pedir, ele pode usar o site para escolher o produto desejado. A roteirização dos pedidos é feita, considerando todos os pedidos, independente do canal de vendas que é utilizado.

## 5.2. Métodos de solução

Um dos procedimentos utilizados para comparação dos resultados obtidos pela floricultura, foi o método de Clarke e Wright (1964). Esta heurística é simples e eficiente para problemas pequenos, que é o caso da floricultura em questão. Cada vértice ou nó corresponde a um cliente. Todos os nós são combinados, dois a dois; e calcula-se o ganho para cada combinação. As combinações  $i, j$  obtidas são ordenadas de forma decrescente, segundo os valores dos ganhos  $g_{ij}$ , economia em distância que resulta em atender os clientes de cada par de rotas em uma única rota. Esta lista de combinações é percorrida, sempre obedecendo à seqüência decrescente dos ganhos, até que todos os pontos (clientes) sejam incluídos em algum roteiro.

Para um par de pontos  $(i, j)$ , tirado da seqüência de combinações, é verificado se os dois pontos já fazem parte de um roteiro iniciado:

- se  $i$  e  $j$  não estiverem incluídos em nenhum dos roteiros já iniciados, cria-se então um novo roteiro com esses dois pontos;
- se o ponto  $i$  já pertence a um roteiro iniciado, é verificado se esse ponto é o primeiro ou último desse roteiro (não considerando o depósito). Se a resposta for positiva, acrescenta-se o par de pontos  $(i, j)$  na extremidade apropriada. A mesma análise é feita para o ponto  $j$ . Se nenhum dos dois pontos satisfizer essa condição separadamente, passar para o próximo item;
- se ambos os pontos  $i$  e  $j$  fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, é avaliado se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se a resposta for positiva, os dois roteiros são fundidos em um só, juntando-os de forma a unir o ponto  $i$  ao ponto  $j$ ;
- se ambos os nós  $i$  e  $j$  fazem parte de um mesmo roteiro, é verificado se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade. Se atender os limites das restrições, a nova configuração é aceita.

O modelo descrito na seção 4.2, foi implementado, utilizando o LINGO, que é uma linguagem de modelagem, que permite a descrição de grandes e complexos modelos de programação matemática.

## 5.3. Resultados e discussões

Foram coletados dados de entrega da floricultura, durante quatro dias e nesses dias, as entregas foram realizadas apenas nos períodos da manhã e da tarde. Entregas no período da noite, são mais raras. As rotas realizadas pela empresa, nesses dias, estão descritas na tabela 1. A coluna 1 corresponde aos dias e a segunda, terceira, quarta e quinta colunas, às rotas realizadas por cada motorista, onde D é o depósito, M1 é o cliente 1 do período manhã, M2 é o cliente 2 do período manhã, T1 é o cliente 1 do período da tarde, T2 é o cliente 2 do período da tarde e, assim sucessivamente. Conforme é possível observar na tabela 1, os dias 01 e 03 possuem duas rotas no período da manhã, e são utilizados dois motoristas e os dias 02 e 04 possuem três rotas para este mesmo período.

A partir dos endereços de cada cliente e das rotas realizadas pela floricultura (tabela 1), as distâncias foram calculadas, utilizando o programa para cálculo de distâncias do GUIAMAIS (2006). A tabela 2 descreve as rotas obtidas com a aplicação do método de Clarke e Wright (1964).

Analisando as tabelas 1 e 2, pode-se observar que nos dias 01 e 03, no período da manhã, a floricultura realizou duas rotas e com a aplicação do método de Clarke e Wright (1964), com apenas um roteiro foi possível realizar todas as entregas. Para os dias 02 e 04, a floricultura realizou três rotas, no período da manhã e três rotas no período da tarde, utilizando quatro motoristas. Com a aplicação desse método apenas um motorista foi utilizado em cada um dos períodos. Observe que a aplicação do método de Clarke e Wright (1964), resultou em apenas um roteiro por período para todos os dias.

TABELA 1 – Rotas realizadas pela floricultura

Dia	Motorista 1	Motorista 2	Motorista 3	Motorista 4
01	D→M1→M2→M3→D	D→M4→M5→M6→D		
02	D→M1→M2→M3→D	D→M4→M5→M6→M7→D	D→M8→M9→M10→M11→D	
	D→T1→T2→D		D→T3→T4→T5→D	D→T6→T7→T8→T9→D
03	D→M1→D	D→M2→M3→M4→M5→M6→D	D→T1→T2→T3→D	
	D→M1→M2→M3→M4→M5→M6→M7→D	D→M8→M9→D	D→M10→M11→M12→D	
04	D→T1→T2→D	D→T3→D		D→T4→T5→D

TABELA 2 – Rotas realizadas segundo o método de Clarke e Wright (1964)

Dia	Rota 1- Período manhã	Rota 2- período tarde
01	D→M1→M4→M5→M2→M6→M3→D	
02	D→M1→M3→M2→M10→M9→M5→M7→M6→M11→M8→M4→D	D→T4→T6→T1→T3→T9→T5→T8→T7→T2→D
03	D→M3→M5→M1→M4→M2→M6→D	D→T1→T3→T2→D
04	D→M1→M2→M10→M11→M9→M6→M12→M3→M5→M4→M7→M8→D	D→T3→T5→T1→T2→T4→D

Na tabela 3, estão listadas as distâncias totais percorridas, em cada dia, para os períodos da manhã e da tarde, em quilômetros. A terceira e a quarta colunas apresentam, respectivamente, as distâncias totais percorridas pelas rotas definidas pela floricultura e pelo método de Clarke e Wright (1964).

TABELA 3 – Distâncias percorridas pela rotas da floricultura e pelas rotas obtidas pelo algoritmo de Clarke e Wright (1964).

Dia	Período	Distância total – floricultura	Distância total- método de Clarke e Wright (1964)
01	Manhã	107,6	85,8
	Tarde	0	0
02	Manhã	93,4	58,5
	Tarde	72,8	54,1
03	Manhã	57	52,8
	Tarde	9,1	9
04	Manhã	88,7	59,4
	Tarde	59,6	50,9

Note (tabela 3) que as distâncias percorridas pelas rotas definidas pela floricultura são sempre maiores do que as encontradas pelo método de Clarke e Wright (1964). A rota encontrada por este método, para o período da tarde, do dia 03 (tabela 2) envolve os mesmos clientes que a rota encontrada pela floricultura para o mesmo período desse mesmo dia (tabela 1). Entretanto, a distância total percorrida não é a mesma (tabela 3), ocorrendo uma pequena redução (de 9,1km para 9,0km).

Para implementação do modelo descrito, na seção 4.2 foi utilizada a versão 9.0 do LINGO. Na função objetivo (1.0), considerou-se a minimização da distância total percorrida. A restrição (1.6) de capacidade dos veículos não foi utilizada, pois no caso da floricultura, a capacidade máxima nunca é atingida. As restrições (1.9), que proíbem a formação de rotas, que não incluem o depósito, também não foram utilizadas, pelo fato de aumentarem consideravelmente o tamanho do problema. Quando esse tipo de rota foi obtido, a mesma foi particionada, através da fixação de variáveis. Os tempos de viagem foram calculados em função das distâncias e da velocidade média utilizada. Considerou-se uma velocidade média de circulação de 35km/hora (CUNHA, 2003; PELIZARO, 2000). Utilizou-se um tempo de serviço ao cliente, para todos os veículos, igual a 10 minutos.

A idéia inicial era comparar os resultados obtidos pela floricultura com as soluções obtidas pelo método de Clarke e Wright (1964) e pelo LINGO. A versão utilizada deste software possui uma limitação de apenas cinquenta variáveis inteiras. Em função disso, apesar de todos os conjuntos de dados terem sido gerados para todos os quatro dias coletados, só foi possível a comparação dos resultados com o período da tarde do dia 03. O número máximo de veículos disponíveis foi fixado em dois, pois com um número maior de veículos o número máximo de variáveis inteiras é excedido. Como as soluções obtidas, tanto pela floricultura como pelo método de Clarke e Wright (1964), utilizaram apenas um motorista, isso não prejudicou a qualidade da solução encontrada. Como as entregas são realizadas por período, foram consideradas 4 horas disponíveis por período, para cada um dos dois veículos. Para todos os outros dias, para os dois períodos, as dimensões dos problemas gerados excederam o limite do número de variáveis.

A solução obtida pelo LINGO, neste caso, foi a mesma rota encontrada pelo método de Clarke e Wright (1964), que a partir do depósito, passa no cliente 1, depois no cliente 3 e, por último, no cliente 2, retornando para o depósito, percorrendo um total de 9,0 km.

## 6. COMENTÁRIOS FINAIS

Para problemas encontrados na prática de dimensões pequenas, como o caso da floricultura em questão, métodos simples, como o algoritmo de Clarke e Wright (1964) ou linguagens de modelagens, como o LINGO, podem ser utilizados para obter soluções melhores, do ponto de vista da distância total percorrida e do número total de veículos utilizados, conforme evidenciado pelas melhorias obtidas pelo método de Clarke e Wright (1964). Cabe ressaltar que toda empresa deve avaliar o tradeoff entre o nível de serviço que se pretenda oferecer aos clientes e o custo para oferecer este nível de serviço. Viabilizar um atendimento mais rápido aos clientes pode, por um lado, ter um custo maior para a empresa, no sentido de que mais veículos se fazem necessários e que a distância total percorrida pela frota é maior; mas por outro, permite que a empresa se diferencie, oferecendo aos seus clientes uma entrega mais rápida, num mercado que é cada vez mais competitivo.

Como perspectiva futura, pretende-se coletar uma amostra maior e dividi-la em, por exemplo, dias de altas, médias e baixas vendas e comparar as soluções obtidas pela floricultura, com as soluções obtidas pelos dois métodos aqui utilizados.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Iniciação Científica PIBIC pela bolsa concedida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTIN, A. L. **Comércio eletrônico: modelo, aspectos e contribuições de sua aplicação**. São Paulo: Atlas, 2000.
- AUTOMÓVEIS representam 62% dos R\$ 4,6 bi movimentos on-line. **Folha On-line**, São Paulo, 25 ago. 2005. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u18866.shtml>>. Acesso em: 27 out. 2005.
- BALLOU, R. H. **Logística empresarial**. São Paulo: Atlas, 1993.
- BARBOSA, J. M. R. Aplicação de uma abordagem adaptativa de busca tabu a problemas de roteirização e programação de veículos, 2005. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Produção), Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos.
- BODIN, L.D.; GOLDEN, B.; BALL, M. Routing Scheduling of vehicles and crews: the state of art. **Computers & Operations Research**, nº.9, pp.63-212, 1983.
- CATALANI, L., KISCHINEVSKY, A., RAMOS, E., et al. **E-commerce**. São Paulo: FGV, 2004.
- CLARKE, G; WRIGHT, J.W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research**, nº.12, pp. 568-581, 1964.
- COMÉRCIO eletrônico no Brasil cresce 47% em 2004. **Folha on-line**, São Paulo, 15 fev. 2005. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u17975.shtml>>. Acesso em: 19 abr. 2005.
- CUNHA, C. B. **Algoritmos para roteamento e programação de veículos no contexto da distribuição física**, 1991. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.
- CUNHA, C. B. Um modelo matemático para o problema de seqüenciamento e programação de visitas de gerentes de banco. **Gestão e Produção**, v.10, nº.2, pp.183-196, 2003.
- FATURAMENTO de e-commerce no Brasil cresce 400% em quatro anos. **Folha On-line**, São Paulo, 28 mar. 2005. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/informatica/ult124u18220.shtml>>. Acesso em: 19 abr. 2005.
- GUIAMAIS. Disponível em: <<http://www.guiamais.com.br>> Acesso em: 05 mar. 2006.
- LIMA, M. P. Custos logísticos na economia brasileira. **Revista Tecnológica**. Rio de Janeiro, jan. 2006. Disponível em: <[http://www.cel.coppead.ufrj.br/art\\_custos\\_logisticos\\_economia\\_brasileira.pdf](http://www.cel.coppead.ufrj.br/art_custos_logisticos_economia_brasileira.pdf)>. Acesso em: 2 mai 2006.
- MERLO, E. O desafio da logística no e-commerce. Disponível em: <<http://www.elizabethmerlo.com.br/artigos.htm>>. Acesso em: 15 ago, 2005.
- NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Rio de Janeiro: Câmpus, 2004.
- PELIZARO C. Avaliação de desempenho do algoritmo de um programa comercial para roteirização de veículos, 2000. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil – Transportes) - Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- Uma década de e-commerce**. 31 out. 2004. Disponível em: <[http://www.malima.com.br/article\\_read.asp?id=47](http://www.malima.com.br/article_read.asp?id=47)>. Acesso em: 06 abr. 2006.