



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO, ATUÁRIA, CONTABILIDADE
E SECRETARIADO
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO

ALAN DUARTE DE OLIVEIRA

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE
TRANSPORTES

FORTALEZA

2014

ALAN DUARTE DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE
TRANSPORTES**

Monografia apresentada ao Curso de Administração da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Administração.
Orientador: Professor José Carlos Lázaro da Silva Filho.

FORTALEZA

2014

ALAN DUARTE DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ROTEIRIZAÇÃO DE
TRANSPORTES**

Monografia apresentada ao Curso de
Administração da Universidade Federal do
Ceará como requisito parcial à obtenção do
título de bacharel em Administração.
Orientador: Professor José Carlos Lázaro da
Silva Filho.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Carlos Lázaro da Silva Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luiz Carlos Murakami
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Áurio Lúcio Leocádio da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Ionete e Raimundo Alves, e ao meu irmão, Alex, pelo apoio, carinho e confiança que depositaram em mim.

A todos os meus amigos, em especial ao grande amigo Fonseca e aos cabo-verdianos Danilson e Maruilson.

A minha namorada, Janaina.

Ao meu orientador, Prof. José Carlos Lázaro.

Aos meus filhos.

RESUMO

Os métodos científicos para a Roteirização e Programção de Veículos foram desenvolvidos para melhorar o desempenho da atividade de transporte logístico. Porém, verifica-se que ainda há organizações que não se utilizam desses métodos na definição de suas rotas de transporte e entrega. Isso é um fator que pode lhes causar ineficiência operacional em suas atividades de transporte logístico. A roteirização de transportes é uma das áreas que mais sofre pelo uso do empirismo e da experiência no planejamento e execução de suas atividades. Visto isso, esse trabalho busca analisar o uso de métodos científicos de roteirização nas atividades logísticas de transporte, demonstrando que o uso de métodos comprovadamente testados e desenvolvidos para este fim específico pode ajudar a melhorar a eficiência operacional da área e reduzir seus custos. O trabalho exhibe exemplos teórico-práticos sobre o uso de métodos científicos de roteirização e os benefícios que eles podem trazer para as organizações. Além disso, também exhibe um estudo de caso com a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) com o objetivo de mostrar como é determinada a roteirização de veículos para entrega de encomendas na cidade de Fortaleza, Ceará e verificar se há o uso de métodos científicos de roteirização. As conclusões do trabalho indicaram que o uso dos referidos métodos científicos pode representar um diferencial competitivo, principalmente para as pequenas e médias empresas. O estudo de caso mostrou que a ECT determina os roteiros de entregas através da utilização de um método de roteirização não científico.

Palavras-chave: Roteirização de Veículos, Logística, Desempenho Operacional.

ABSTRACT

The scientific methods for Vehicle Routing Problem have been developed for the improvement of logistic transport activity. Though it is seen that there still are organizations that do not use scientific methods on definition of its transport routes and delivery routes. This is a factor that would cause inefficiency in organizations logistic transport activities. The logistic transport routing is one of the areas that most suffer by the usage of only empirics and experiences on planning and execution of its activities. So, this study seeks to show the usage importance of scientific routing methods on logistic transport activities, demonstrating that the use of tested and proved methods developed for this specific propose can help to improve the operational efficiency of logistic transport and decrease its costs. This study intends to show theoretical e practical examples that show the use of scientific routing methods and the benefits its use can bring to the organizations. Furthermore, this study also shows a case study with the Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) meaning to identify how is determinate its delivery vehicle routing in the city of Fortaleza and identify if the there are use of scientific routing methods on this activity. The conclusions of this work indicated that the use of scientific methods on vehicle routing problems can be a competitive advantage, above all for the small and medium organizations. The case study has showed that the ECT do not use scientific methods for its delivery routing problem in the city of Fortaleza.

Key-words: Vehicle Routing, Logístics, Operational Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de Problemas de Roteirização em Relação à Origem e Destino.....	24
Figura 2 - Representação das Variáveis do PC.....	26
Figura 3 - Representação de um roteiro do PCV.....	26
Figura 4 - Opções de Rota	30
Figura 5 - Etapas do método do ponto mais distante.....	31
Figura 6 - Passos para criação de uma rota pelo método Clarke e Wright.....	32
Figura 7 - Exemplo de movimentos pelo método 2-opt	37
Figura 8 - Exemplo de movimentos pelo método 3-opt.....	37
Figura 9 - Construção da solução inicial pelo Método do Canto Noroeste.....	40
Figura 10 - Organograma dos Correios	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Exemplo de matriz para solução inicial do Simplex.	34
Tabela 2: Inserção do coeficiente M para eliminar a variável auxiliar.	35
Tabela 3: Elementos-pivô da nova solução.	35
Tabela 4: Linhas a serem somadas às linhas da matriz solução.	36
Tabela 5 - Tabela dos Custos Unitários, Disponibilidades e Necessidades	38
Tabela 6 - Matriz dos Custos Unitários com Ajuste.....	39
Tabela 7 - Exemplo de Solução Inicial.....	40
Tabela 8 – Tabela de Custos entre Origens e Destinos	41
Tabela 9 - Tabela de Solução	42
Tabela 10 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos	42
Tabela 11 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos	42
Tabela 12 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos	43
Tabela 13 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos	43
Tabela 14 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos	43
Tabela 15 - Exemplo de Matriz de Custos	44
Tabela 16 - Exemplo de Solução Inicial.....	44
Tabela 17 - Equações em função das variáveis básicas.....	44
Tabela 18 - Valores das Variáveis U_i e V_j	45
Tabela 19 - Valor dos Coeficientes das Variáveis Não Básicas.....	45
Tabela 20 - Circuito de Compensação.....	46
Tabela 21: Substituição no Circuito.	46
Tabela 22 - Restrições e características do problema do problema de roteirização	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos Gerais	13
1.1.1	Objetivos Específicos	13
1.2	Metodologia.....	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Logística	16
2.1.1	Estoque	16
2.1.2	Processamento de Pedidos.....	17
2.1.3	Transporte Logístico.....	18
2.1.4	Infraestrutura de Transporte	19
2.1.5	Logística e Tráfego Urbano.....	20
2.2	Decisões sobre Transportes	21
2.3	Principais Conceitos sobre Roteirização	23
2.3.1	Principais Problemas de Roteirização	23
2.3.2	O Problema Básico de Roteirização	25
2.3.3	Roteirização e Programação de Veículos	26
2.3.4	Restrições de um Problema de Roteirização	27
2.4	Métodos Científicos de Roteirização	28
2.4.1	Métodos de Criação de Roteiros	29
2.4.1.1	Método do Caminho mais Curto	29
2.4.1.2	Método do Ponto mais Distante	30
2.4.1.3	Método Clarke e Wright.....	31
2.4.1.4	Método Simplex	33
2.4.2	Métodos de Melhoria de Roteiro.....	36
2.4.3	Algoritmo do Transporte	37
2.5	Estudos Brasileiros sobre Roteirização	46

2.5.1	Caso 1: Uso de Roteirização de Veículos na Distribuição de Alimentos	47
2.5.2	Caso 2: Roteirização de Veículos e Localização de Um Centro de Distribuição	49
2.5.3	Caso 3: Roteirização de Veículos Automatizada	51
2.5.4	Caso 4: Roteirização de Veículos na Distribuição em um Centro Urbano	52
2.5.5	Conclusões sobre os Casos.....	53
3	ESTUDO DE CASO	55
3.1	Histórico da Empresa	55
3.2	Exposição dos Dados.....	58
3.2.1	Distritamento	58
3.2.2	Principais Características e Restrições do Caso	60
3.3	Verificação de Pressupostos	62
3.4	Conclusões sobre o Caso	63
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

Vivemos em uma sociedade onde quase tudo o que consumimos e o que fazemos é fornecido ou proporcionado por uma organização, seja ela com fins lucrativos ou não. Essas organizações buscam, a cada dia, aprimorar suas atividades e melhorar sua eficiência gerando valor e diferenciação. Dentro desse contexto destacam-se, principalmente, as organizações empresariais. Elas estão geralmente inseridas em mercados cada vez mais competitivos onde buscam maximizar seus retornos e aumentar sua participação de mercado. Para atingir esses objetivos elas precisam, dentre outras ações, atender ao nível de serviço esperado por seus clientes e alcançar eficiência em suas operações (BOWERSOX E CLOSS, 2007).

De acordo com Novaes (2007) o resultado final de uma empresa depende do bom funcionamento de todas as suas áreas. Apesar disso, uma delas merece destaque quando se fala em nível de serviço ao cliente e do seu custo consequentemente gerado, a logística. Dentre as várias áreas de operação de uma empresa a logística se mostra como fundamental na obtenção de diferenciação através da prestação de serviço ao cliente. O ponto fraco da logística é que suas atividades geram altos custos para as companhias que devido à necessidade de gerar lucro se tornam um obstáculo que requer grande atenção.

Conforme Bowersox e Closs (2007) com a crescente elevação do nível de serviço requerido pelos clientes as atividades logísticas tornam-se mais complexas e requerem maior atenção das empresas, exigindo melhor desempenho operacional para serem cumpridas de forma satisfatória. Atualmente a logística é uma área estratégica para as empresas que constantemente precisam tomar decisões sobre transporte (seja para reabastecimento da cadeia de suprimentos ou para entrega ao consumidor final), armazenagem e processamento de pedidos. A logística atual é uma área que requer alto nível de eficiência operacional, e os principais países do mundo, em termos econômicos, já apresentam um alto nível de serviço logístico, o que, Conforme o Instituto Kaizen (2014), não é o caso do Brasil.

Conforme relatório publicado pelo Fundo Monetário Internacional (2013) a economia brasileira deve oscilar entre a sétima e quinta posição no ranking das maiores economias do mundo nos próximos quatro anos. Apesar de estar entre as principais economias do mundo, e com perspectiva de desenvolvimento, o país tem ineficiência na área de logística. De acordo com Instituto Kaizen (2014) o Brasil hoje se encontra em dificuldade devido à ineficiência do seu setor logístico, principalmente por causa da má infra-estrutura, mas também devido à ineficiência na logística interna das empresas, nos processos de responsabilidade da própria empresa. O artigo também ressalta que a melhoria da logística interna de uma empresa pode

resultar no aumento de sua eficiência para níveis em torno de 95%. Conforme o Instituto de Educação Tecnológica (2014) a melhoria da produtividade é um desafio para as empresas nacionais e que requer a melhoria de práticas internas, tais como a melhoria da base tecnológica atualmente utilizada no setor.

A ineficiência além de prejudicar o nível de serviço e a relação com clientes também onera ainda mais os altos custos da área logística. De acordo com o Instituto de Logística e Supply Chain (2014), em 2012 os custos logísticos no Brasil representaram aproximadamente 6,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional. Apenas a atividade de transporte foi responsável por 54% do custo logístico total do país, o que ressalta a importância e a necessidade de alto desempenho dessa atividade logística.

Como visto acima, pode-se perceber que um dos grandes problemas da logística moderna reside no fato de que suas atividades geram custos elevados, que representam boa proporção do faturamento e comprometem a geração de lucro. Apesar disso, as atividades logísticas são essenciais para o funcionamento das companhias e fundamentais na geração de valor e diferenciação na prestação de serviço aos clientes. No Brasil, conforme Instituto Kaizen (2014), há o problema de ineficiência na logística interna das empresas, que aumenta ainda mais os custos e compromete o serviço prestado. Portanto, faz-se necessário às organizações nacionais diminuir ao máximo as ineficiências das operações logísticas.

As empresas nacionais devem de alguma forma melhorar sua eficiência operacional nas atividades logísticas, o que levará a diminuição dos custos e melhorará o nível de serviço prestado aos seus clientes. Não apenas as empresas nacionais, pois Bowersox e Closs (2007) ressaltam que a logística é uma área que tem muito a melhorar em termos de desempenho.

Um meio que pode ajudar a melhorar a produtividade na área logística das empresas é a utilização de métodos científicos específicos para suas atividades. A área de transportes, que como visto é a que gera mais custos e tem impacto direto no serviço prestado, têm métodos científicos especificamente desenvolvidos para aumentar sua eficiência. As principais técnicas científicas voltadas para a atividade logística transportes são os métodos Heurísticos e Exatos de Roteirização e Programação de Transportes.

Conforme Cunha (2000) e Medeiros et al (1998), os métodos Heurísticos e Exatos de Roteirização e Programação de Transportes são técnicas que, quando usadas corretamente, permitem identificar ineficiências em processos de uma empresa através da procura ou cálculo da melhor forma de execução dos mesmos. Elas funcionam através da construção e resolução de um modelo matemático ou da criação e execução de passos e rotinas sequenciais com base nas características de um problema específico e de acordo com restrições e

objetivos pré-definidos. Eles buscam encontrar uma boa ou a melhor solução para um problema específico em tempo plausível. Esses métodos podem permitir às empresas aumentar a eficiência de suas atividades logísticas, garantindo o nível de serviço esperado pelos clientes e diminuindo os custos operacionais de suas atividades. Na prática, esses métodos e seus conceitos normalmente são utilizados na logística através de *softwares* especializados, ditos *softwares* de roteirização.

Apesar do uso e do estudo de métodos científicos de roteirização não serem uma área muito nova, que de acordo com Operations Research/Computer Science Interface (2008) tiveram seu início após a publicação de um trabalho em 1959, ainda há empresas que não as utilizam em suas atividades logísticas. Um exemplo disso encontra-se em Oliveira (2009), que apresenta um estudo de caso no qual as atividades logísticas são organizadas empiricamente. Outro exemplo é o da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) que, conforme Campelo (2010) não utiliza métodos científicos para o cálculo das rotas de distribuição na cidade de Fortaleza ou mesmo uma técnica matemática baseada em modelos acadêmicos para buscar maior eficiência no seu roteamento de entregas. Portanto, conclui-se que ainda há empresas, pelo menos no Brasil, que se utilizam apenas de empirismo e de experiências práticas para a definição de rotas de entrega e/ou coletas na sua área de transportes logísticos, o que ressalta a necessidade da utilização de métodos mais confiáveis e que tenham comprovada eficácia, ou seja, métodos científicos. A falta de utilização desses métodos por empresas nacionais pode ser um dos fatores que explique a baixa produtividade em sua logística interna.

Tomando conhecimento do exposto acima, este trabalho pretende mostrar a importância dos métodos científicos para a área de logística de transportes de uma empresa, em termos de aumento de produtividade, explicando o funcionamento e a utilização das principais técnicas existentes que se aplicam às atividades logísticas. O trabalho estará focado no problema de roteirização de transportes, pois conforme Ballou (1993) o transporte é a atividade logística que mais gera custos para as empresas e a que tem seu desempenho diretamente percebido pelo consumidor final. Também será feito um estudo de caso com a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) para verificar na prática como é feito o roteamento do serviço de entrega de encomendas na cidade de Fortaleza-CE. O estudo também buscará saber se atualmente a empresa em questão faz uso ou não de alguma técnica científica existente para as atividades de roteirização e, caso sim, se foi percebido algum benefício após sua utilização.

Dado o problema do trabalho acima exposto seus objetivos serão descritos na próxima sessão.

1.1 Objetivos Gerais

Os objetivos gerais deste trabalho são analisar a utilização de métodos científicos nas atividades de roteirização de transportes e verificar, através de um estudo de caso, como é definido o roteamento de entregas da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos na cidade de Fortaleza-CE. Busca-se com isso demonstrar que os métodos científicos de roteirização podem funcionar como um fator de aumento de produtividade na área de transporte logístico.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Mostrar os principais benefícios proporcionados pela utilização de métodos científicos de roteirização;
- Mostrar como é feita a criação de rotas de entregas de encomendas pela ECT na cidade Fortaleza;
- Analisar o método utilizado pela ECT para roteirização de entregas em Fortaleza.

1.2 Metodologia

Conforme Baptista e Campos (2007) este trabalho se caracteriza como uma pesquisa exploratória de natureza qualitativa, construído por meio de um levantamento bibliográfico e da aplicação de um estudo de caso que, através da exposição de casos práticos buscou alcançar o objetivo proposto.

O estudo de caso foi aplicado através de uma visita a um centro de distribuição da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) com o objetivo de verificar como ocorre seu processo de roteirização de entregas de encomendas na cidade de Fortaleza.

Os dados colhidos na visita foram obtidos através de observação empírica do processo, da obtenção do manual de treinamento do sistema de roteirização da ECT e de uma entrevista gravada. A visita ocorreu no dia 25 de Abril de 2014 no Centro de Triagem de Cartas e Encomendas do Ceará (CTCE-CE). O entrevistado foi o senhor Pedro Alcântara Lima, Coordenador de Atividades Externas da Gerencia de Atividades Externas do Ceará (GERAE-CE). A entrevista teve duração de 32 minutos.

A entrevista foi aplicada com o auxílio de um questionário semi-estruturado com perguntas abertas. Após a aplicação da entrevista os dados contidos no áudio foram tabulados

para facilitar sua análise e obtenção de informações relevantes para o trabalho. Os dados obtidos foram analisados e as informações neles contidas foram expostas no corpo do trabalho, na sessão dedicada ao estudo de caso.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma. O primeiro capítulo é a introdução que fará uma contextualização do objeto de estudo e discorrerá sobre o problema.

O segundo capítulo do trabalho contém o referencial teórico, que aborda conhecimentos acadêmicos que serviram como instrumento na análise a ser feita. Ele está dividido em duas sessões: Logística e Métodos Científicos de Roteirização.

A sessão referente à Logística está dividida em cinco partes de acordo com suas atividades básicas. Nas três primeiras partes é feita uma explicação geral sobre logística e depois serão feitos detalhamentos tratando especificamente das atividades de transporte, estocagem e processamento de pedidos. Também são dadas definições das atividades logísticas e de suas principais funções na empresa. As duas últimas partes abordam os temas tráfego urbano e roteirização. Na parte sobre roteirização são feitas definições conceituais da atividade e mostradas suas principais características.

Na segunda sessão do referencial teórico são explicados os métodos científicos de roteirização e apresentados alguns de seus principais modelos. Os métodos estão divididos em técnicas de criação e de melhoria de roteiros e são compostos por heurísticas e algoritmos matemáticos. Além disso, são apresentadas características de problemas aos quais eles podem ser aplicados.

Após o referencial teórico está a parte de desenvolvimento do trabalho. Nela é mostrada a importância das técnicas científicas de roteirização como fator de melhoria de desempenho nas atividades logísticas das empresas. Isso será feito através de exemplos teórico/práticos da aplicação de métodos científicos de roteirização no contexto organizacional. Os exemplos foram retirados de trabalhos acadêmicos sobre o tema.

O capítulo seguinte apresentará um estudo de caso com os Correios, que trata da forma como esta empresa faz sua roteirização de transportes na entrega de encomendas na cidade de Fortaleza. Nesse estudo também é verificado se a empresa atualmente utiliza algum método científico na determinação das rotas de entrega.

A última parte do trabalho é a conclusão. Nela é ressaltada a importância deste estudo e da utilização de métodos científicos na atividade de roteirização empresarial. Também haverá recomendações sobre o tema e considerações finais sobre o assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Logística

A Logística originou-se da necessidade das pessoas de transportar mercadorias e alimentos excedentes e de trocar produtos localizados em lugares distantes entre si. Hoje, ela é primordial para o desenvolvimento econômico e para sustentar o padrão de vida da sociedade moderna. Como atividade funcional de uma empresa sua correta gestão é fundamental para a sobrevivência e prosperidade empresarial frente à alta concorrência gerada pela globalização econômica mundial (BALLOU, 2006).

Council of Supply Chain Management Professionals:

“Logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes”.

A atividade logística moderna se desenvolveu a partir da Segunda Guerra Mundial como função fundamental às atividades militares, através do apoio aos deslocamentos das tropas durante os conflitos. Então, seus conceitos foram introduzidos nas empresas e aperfeiçoados ao longo do tempo (FIGUEIREDO, FLEURY, WANKE, 2003).

Infere-se de Figueiredo, Fleury e Wanke (2003) que a Logística é uma parte integrante da cadeia de suprimentos, que representa o fluxo de materiais, serviços, informações e todos os inter-relacionamentos entre o ponto de produção de um produto ou preparação de um serviço e o local de consumo final. Ballou (2006) ressalta que a cadeia de suprimentos é maior que a função logística, pois envolve todos os relacionamentos entre as partes dependentes no canal de distribuição. Isso inclui outros setores da própria empresa e agentes externos, como outras empresas clientes e fornecedoras no processo logístico total.

A Logística pode ser dividida em atividades, que podem diferir conforme a empresa devido a restrições técnicas ou econômico-financeiras, ou a decisões estratégicas. No geral, as atividades básicas da Logística são relacionadas a transporte, estocagem e processamento de pedidos (BALLOU, 2006).

2.1.1 Estoque

Ballou (2006, p. 271) define estoques como:

“Acumulações de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados, que figuram normalmente em lugares como armazéns, pátios, chão de fábrica, equipamentos de transporte e em armazéns de redes de varejo”.

Conforme Bowersox e Closs (2007) o ideal para uma empresa é não ter estoque ou tê-lo minimamente para reduzir seus custos gerados. Porém, nem sempre é possível trabalhar com estoque zero, pois a necessidade de se manter estoques depende da organização da cadeia de distribuição e da estratégia de escolha do nível de serviço que será oferecido aos clientes.

A manutenção de estoques apesar de gerar custos pode reduzi-los. Isso é possível através de compras em grandes quantidades (economia de escalas) e da distribuição dos produtos em maiores quantidades, que reduz o preço do frete por unidade. Além disso, o estoque também pode funcionar como ferramenta para aumentar o nível de serviço ao cliente com o aumento da disponibilidade de produtos, de forma a satisfazer suas expectativas. Outra justificativa dos estoques é sua utilização como precaução contra riscos relativos à distribuição, ao aumento repentino da demanda e a incertezas conjunturais (BALLOU, 2006).

O nível de estoque dentro de uma empresa varia em função de sua demanda e da definição do nível de serviço ao cliente, uma decisão de longo prazo. O estoque em função da demanda é determinado pela previsão desta, uma atividade crucial na gestão de estoques, pois um erro nela pode ocasionar grandes problemas para a empresa devido à consequente falta ou excesso de estoques ocasionada, podendo gerar custos desnecessários, perda de vendas e paralisação da produção (FIGUEIREDO, FLEURY, WANKE, 2003).

2.1.2 Processamento de Pedidos

Ballou (2006, p. 122) define processamento de pedido como:

“Processamento de pedido são atividades incluídas no ciclo de pedido do cliente. Elas envolvem a preparação, transmissão, recebimento e expedição do pedido, e o relatório da situação do pedido”.

Segundo Ballou (2006) os estoques mantidos pelas empresas são transportados até os clientes pela cadeia logística. Esse processo inicia através da emissão de um pedido do cliente que é processado pela empresa. O processamento de um pedido é um ciclo de ações internas de uma empresa que inicia após a requisição de um agente externo. Ele geralmente ocorre através de sistemas de informação que têm conexão com os locais onde os produtos estão armazenados ou de onde a ordem de serviço será encaminhada. O processo inicia com a

requisição do pedido pelo cliente e finda com o seu envio e disponibilização das informações para seu acompanhamento.

2.1.3 Transporte Logístico

A outra atividade logística básica é o transporte, que de acordo com Novaes (2007) é responsável pelas movimentações logísticas externas. Essa atividade tem papel central nesse trabalho.

Com o desenvolvimento gerado pela globalização do mercado as necessidades de transportes foram aumentando e tornando-se cruciais para nossa atual economia. Isso se deve ao fato de que a demanda por produtos vem crescendo com a abertura dos mercados e as distâncias percorridas entre as etapas de abastecimento, produção e distribuição estão aumentando. Tudo isso faz com que a atividade de transporte tenha papel crucial na atual sociedade. Além disso, o desenvolvimento fez aumentar as atividades em determinadas regiões onde se formaram aglomerações urbanas nas quais o transporte é crucial na vida da sociedade (DUTRA, 2004).

O transporte é conceitualmente conhecido como distribuição física de produtos e matérias ao longo da cadeia de abastecimento, passando por indústria, varejo até o consumidor. Cada empresa ocupa seu papel na distribuição dentro dessa cadeia. Normalmente, o produtor transporta ao varejista que disponibiliza aos clientes (FIGUEIREDO, FLEURY, WANKE, 2003).

Bertaglia (2009, p. 292) conceitua transporte como:

“A atividade de transporte gera os fluxos físicos de bens e serviços ao longo dos canais de distribuição, e é responsável pelos movimentos de produtos, utilizando modalidades de transporte que ligam as unidades físicas de produção ou armazenagem até os pontos de compra ou consumo”.

Conforme Ballou (2006) a atividade de transportes constitui uma das maiores fontes de custos para uma empresa e é a atividade logística que mais gera custos, aproximadamente dois terços dos desembolsos da área. Isso eleva a importância dessa atividade para as operações logísticas de uma empresa, fazendo existir a necessidade de obtenção de alto desempenho operacional. Um transporte eficiente é muito importante para o desenvolvimento econômico. Ele amplia a competição entre as empresas, pois permite regiões produtoras distantes competirem nos mercados longínquos devido ao baixo custo de deslocamento dos produtos. Além disso, com um mercado consumidor maior a empresa pode produzir mais e reduzir o custo unitário.

Conforme Figueiredo, Fleury e Wanke (2003) a atividade de transportes é a função logística que requer mais atenção devido a sua influência direta nos resultados da empresa e no nível de serviço prestado. Essa importância da área reflete-se nas mudanças ocorridas nas últimas décadas para melhorar seu desempenho, entre elas o uso da tecnologia e de novas técnicas de gestão.

2.1.4 Infraestrutura de Transporte

Segundo Bertaglia (1990) a infraestrutura de transporte pode ser dividida em duas partes: a que está a cargo da própria empresa responsável pelo transporte e a que está a cargo de outras instituições, principalmente o governo. A parte que cabe à empresa diz respeito às instalações, equipamentos e veículos. A parte sob responsabilidade do poder público são as vias de circulação por onde trafegam os veículos, que são fundamentais e têm grande impacto no custo dos transportes. Vias em más condições geram risco de acidentes e custos de manutenção da frota.

Villela e Tedesco (2011) também classificam as vias e instalações físicas de embarque e desembarque como infraestrutura de transporte e introduzem o conceito de sistema de transporte, o qual além da estrutura física e dos equipamentos também engloba os agentes responsáveis por seu funcionamento e o conteúdo a ser transportado.

Na prestação de serviços de transporte as empresas necessitam de estrutura e equipamentos. As estruturas são locais de armazenagem onde ocorrem as operações de carga e descarga nas fases de processamento do pedido e de entrega. Os equipamentos são os transportes destinados as entregas e ao embarque e desembarque de cargas. Nos deslocamentos externos, cada meio de transporte exige uma forma específica para deslocamento, no caso desse trabalho o foco é o transporte por veículos, os quais transitam por vias terrestres (BALLOU, 2006).

Bertaglia (2009) destaca outros equipamentos de extrema importância no embarque e desembarque nos terminais de transporte. Equipamentos como leitores de código de barras e paletes que, associados a *softwares* de comunicação, permitem acelerar as operações de distribuição, reduzem os erros, aumentam a segurança, disponibilizam informações e facilitam a verificação das cargas.

2.1.5 Logística e Tráfego Urbano

Devido ao fato de o tráfego urbano ter influência no processo de roteirização em um centro urbano, esse título será dedicado a explicação de alguns de seus principais aspectos.

De acordo com Mukai et al (2007) a logística em um centro urbano pode ser destinada a transporte de pessoas ou de cargas, e destina-se à movimentação destes dentro da área geográfica urbana de uma cidade. No caso deste trabalho o objetivo é discorrer sobre roteirização na logística urbana de cargas, tratando de problemas de entregas realizadas por empresas em centros urbanos.

Dablanc (1997 apud DUTRA, 2004, p. 51) define transporte urbano de carga como “a organização do deslocamento de produtos dentro do território urbano”. Essa é uma atividade que envolve, além da estrutura da empresa em termos de equipamentos e pessoal responsável pela atividade, agentes externos que influenciam a velocidade e eficiência da movimentação dentro de uma área urbana. Como principais agentes externos podem-se citar as ruas por onde os deslocamentos são feitos, os pontos de parada e o trajeto traçado. É importante lembrar que boa parte dos fatores externos que contribuem para o desempenho da logística urbana tem sua criação e manutenção sob a responsabilidade de agentes governamentais (DUTRA, 2004).

Segundo Prata e Arruda (2007) o desempenho logístico muitas vezes pode ser prejudicado pelo excesso de tráfego e por problemas estruturais nas vias de circulação ocasionados pelo seu desgaste ou ao mau planejamento, o que causa grande impacto no tempo de deslocamento. Como será visto no próximo capítulo, o tempo é uma variável crucial em um problema de roteirização.

O tráfego urbano terrestre é popularmente conhecido nas cidades como trânsito, porém há vários tipos de tráfego. Nesse trabalho o interesse é no tráfego de veículos. Conforme o Código de Trânsito Nacional o tráfego urbano e os demais tipos de tráfego são regulados pela Lei Federal Nº 9503 de 23 de Setembro de 1997. Seu planejamento e controle ficam a cargo dos órgãos e entidades de fiscalização federais, estaduais e municipais.

O tráfego urbano tem aumentado muito nas últimas décadas, principalmente devido ao aumento da população urbana e do uso do carro. Conforme levantamento feito pela Organização das Nações Unidas (ONU), até 2050 cerca de dois terços da população mundial estarão vivendo em cidades, crescimento de um terço desde 1945. No Brasil a proporção de aumento é ainda maior; de 1960 a 2010 a população urbana nacional aumentou cerca de 5 vezes, de aproximadamente 32 milhões para 160,9 milhões.

Particularmente, o Brasil é um país que sofre com o grande número de veículos trafegando nas regiões urbanas de suas principais cidades. Conforme dados de Dezembro de 2013 disponibilizados pelo Departamento Nacional de Transito (DENATRAN) todas as capitais do país têm mais de 100 mil veículos trafegando em suas ruas e avenidas, sendo que cinco cidades (São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Brasília, Curitiba e Goiânia) têm mais de 1 milhão. No caso do Ceará, a cidade de Fortaleza tem mais 900 mil veículos em circulação. Esse grande número de veículos gera congestionamentos, dificulta o desempenho logístico e eleva os custos.

2.2 Decisões sobre Transportes

O transporte logístico é uma área que sofre muita influência da distância entre os pontos físicos envolvidos nas movimentações de mercadorias e produtos entre a origem e o destino. O tempo gasto para percorrer esse percurso é fundamental na determinação da estratégia da empresa quanto aos seus serviços de transporte. Tempo e distância ajudam a determinar a qualidade do serviço que pode ser disponibilizado ao cliente, ou seja, a que nível operacional a empresa irá operar para atender suas demandas de entregas, o que influencia os custos incorridos nesse processo, tal como o nível de manutenção de estoques. Atualmente o tempo é um aspecto crítico para a atividade de transportes. Cada vez mais se espera alto desempenho dessa área (BERTAGLIA, 2009).

A gestão de transportes é uma atividade estratégica para as empresas. Ela reflete diretamente no serviço que a empresa prestará a seus clientes. Serviços de entrega de alto nível requerem alto nível de atividades operacionais, que geram altos custos. Por isso, gerir a atividade de transporte significa tomar decisões que repercutirão nas operações da empresa, tanto no longo prazo quanto no curto prazo. Escolher o tipo de transporte a ser utilizado nas entregas, execução própria ou terceirização, planejar embarques e programar veículos e suas rotas de entrega são exemplos de decisões importantes para a gestão de transportes (FIGUEIREDO, FLEURY, WANKE, 2003).

Para Ballou (2006) os tipos de transporte disponíveis são basicamente cinco, conhecidos pela literatura como modais de transporte: rodoviário, hidroviário, aeroviário, ferroviário e dutoviário. O tipo de transporte escolhido pela empresa depende de características próprias do negócio e da decisão estratégica entre a melhor combinação entre qualidade e custo. Cada modal de transporte têm suas particularidades e características operacionais que implicam no custo final da operação. Por isso, fatores como o preço do uso

do transporte, tempo médio gasto nas entregas, nível de segurança física da carga e consistência nas entregas (nível dos desvios no tempo médio de entrega) também ajudam a decidir qual modal escolher. Há também a possibilidade de utilização de um serviço de transporte misto entre modais.

Outra importante decisão de transporte é a de obter ou não a posse dos transportes. Ela é importante porque geralmente uma das opções é mais vantajosa financeiramente para a empresa, ou seja, permite-se gastar menos com transporte. Porém, para manter uma frota própria é necessário manter profissionais competentes para geri-la com eficiência, o que pode não ser viável devido à maior geração de custo ou mesmo a indisponibilidade desses profissionais no mercado. O Modal utilizado pela empresa também pode influenciar na decisão de posse da frota, porque alguns modais têm equipamentos de transporte com altíssimo custo de aquisição, como o transporte marítimo, ferroviário e aéreo. Um fator que favorece a terceirização é a dificuldade da empresa de encontrar novas necessidades de transporte no retorno de uma rota de entrega, uma estratégia que reduz os custos e aumenta a utilidade do transporte (FIGUEIREDO, FLEURY, WANKE, 2003).

Para Ballou (2006) há outros fatores importantes na decisão sobre a propriedade da frota; um deles é o porte das operações de transporte. Quanto maior for o volume de entregas mais fácil será para a empresa empregar economias de escala, o que pode justificar a posse da frota. A necessidade de qualificação técnica também pode justificar a manutenção de frota própria, pois para terceirizar deve haver um operador logístico competente e habilitado no mercado, e que atenda as particularidades exigidas na operação.

A decisão de terceirização ou não dos transportes logísticos externos é importante para o presente trabalho, pois, conforme Ballou (1993), a roteirização, foco desse estudo, só é possível quando a empresa detém o controle dos veículos a serem utilizados nas entregas.

Conforme Figueiredo, Fleury e Wanke (2003) as decisões sobre escolha do modal de transporte e sobre a terceirização ou não da execução das atividades de transporte são de longo prazo. Porém, quando uma empresa decide ter uma frota própria e executar as atividades de transporte ela passa a ter que tomar decisões de curto prazo para o melhor desempenho do serviço de transporte. Essas decisões repercutem nas operações diárias da atividade de transporte e em sua eficiência. Entre tais decisões podemos citar o planejamento de embarques e a roteirização e programação de veículos.

Pelo foco desse trabalho ser a roteirização de transportes apenas esta decisão operacional será tratada teoricamente. Nas próximas seções será feita a definição conceitual de roteirização e de suas principais características.

2.3 Principais Conceitos sobre Roteirização

Na literatura existente sobre o assunto os autores costumam utilizar roteirização e roteamento como sinônimos. Nesse trabalho isso também ocorrerá. Outra informação importante é que o roteamento existe para diferentes tipos de atividades que utilizam veículos, porém a roteirização a ser vista nesse trabalho tratará apenas do transporte de cargas.

Conforme Operations Research/Computer Science Interfaces (2008) os estudos e aplicações de roteirização de transportes começaram após a publicação de um trabalho em 1959 por Dantzig e Ramser intitulado de *Truck Dispatching Problem*. A partir de então, o interesse pela área aumentou expressivamente e os estudos sobre o tema se multiplicaram.

Conforme Novaes (2007) a roteirização pode ser definida como um problema que envolve produtos e/ou insumos que devem ser transportados, partindo de um ponto de origem para um ponto de destino, ambos distantes geograficamente, fazendo-se necessário, no mínimo, um transporte e um condutor. O problema então se resume a criar uma rota de transporte entre destino e origem, que atenda a restrições envolvidas no processo.

Ballou (1993, p. 143) define a criação de uma rota como:

“A montagem da rota ou plano de viagem é o problema encontrado para direcionar veículos através de uma rede de vias, rios ou corredores aéreos”.

Conforme Ballou (2006) com uma boa rota de entrega é possível economizar tempo nas viagens e melhorar a eficiência da utilização dos transportes, o que reduz os custos e melhora o desempenho da atividade.

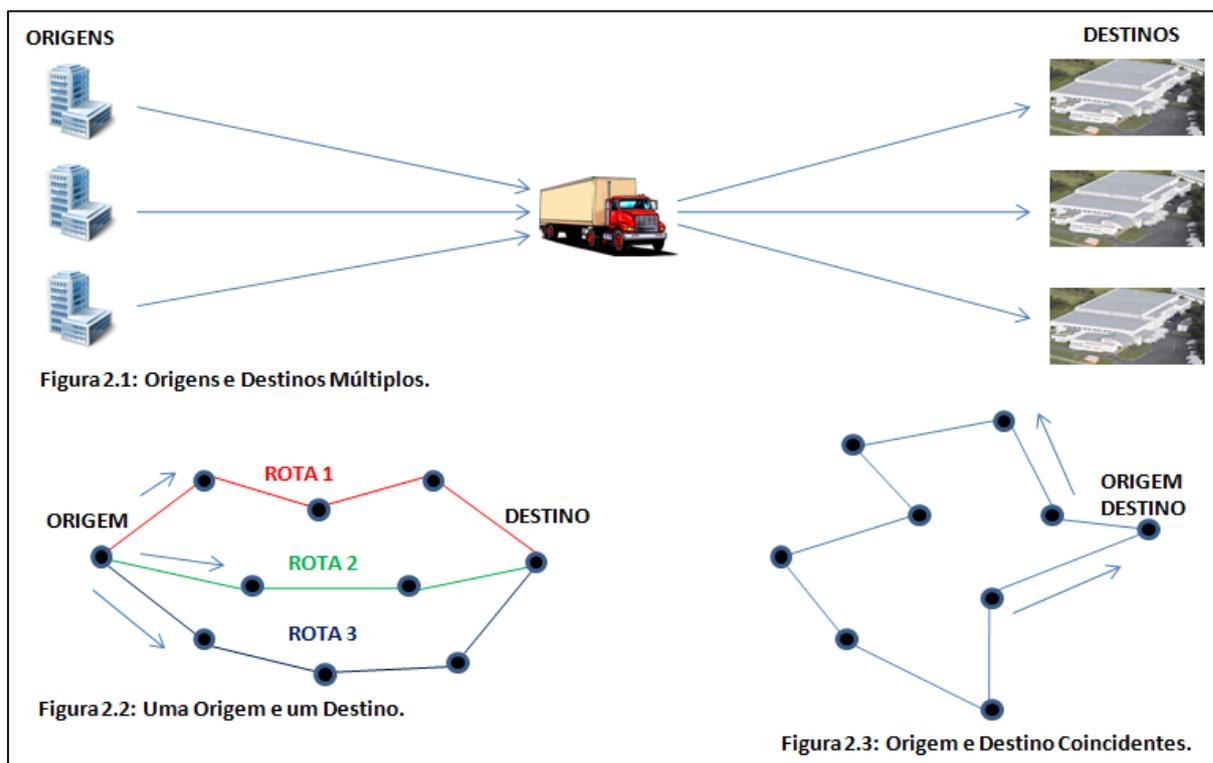
2.3.1 Principais Problemas de Roteirização

Conforme Ballou (2006) os problemas de roteirização de veículos podem ser diferenciados de acordo com o tipo de interação entre os pontos de origem e destino na criação da rota a ser utilizada para o transporte. Primeiro, há a roteirização na qual há apenas um ponto de origem e um de destino (Figura 1.2). Há também o problema onde existem vários pontos de origem e de destino (Figura 1.1). Outra forma de roteiro é quando a rota inicia e termina na origem, passando por outros pontos antes do retorno (Figura 1.3).

Infere-se de Chaves (2003) que as rotas construídas pelo processo de roteirização podem ter até três diferentes objetivos, que implicam na complexidade do problema. As rotas construídas podem ser destinadas a fazer apenas coletas ou apenas entregas, ou podem fazer

ambos, simultaneamente ou não. Cada um desses tipos de rota tem suas características próprias.

Figura 1 - Tipos de Problemas de Roteirização em Relação à Origem e Destino



Fonte: Autoria Própria.

Gribkovskaia e Laporte (2008) tratam do problema de roteirização com coletas e entregas com um único veículo, partindo de um depósito e retornando. Essa situação tem como ponto inicial demandas de entregas em pontos diferentes, as quais os objetos demandados se encontram no depósito; e demandas de coletas, também em pontos diferentes e fora do depósito. Para encontrar uma solução para o caso deve-se considerar se os pontos de coleta e entrega são diferentes ou se coincidem. A rota traçada deve determinar a ordem das coletas e entregas, ou seja, fazer todas as entregas antes das coletas ou fazer todas as coletas antes das entregas. Mesquita (2010) trata do problema no qual os destinos da rota têm demandas de entregas e coletas simultaneamente.

Alvarenga (2005) diferencia os tipos de problemas de roteirização como estáticos e dinâmicos. Os problemas estáticos são os mais abordados pela literatura existente e suas principais características são a existência das restrições básicas de tempo e capacidade de transporte e a busca da minimização da distância percorrida. O problema dinâmico difere do

estático principalmente porque algumas de suas variáveis apenas são conhecidas após o início de sua solução e podem sofrer modificação ao longo do tempo.

2.3.2 O Problema Básico de Roteirização

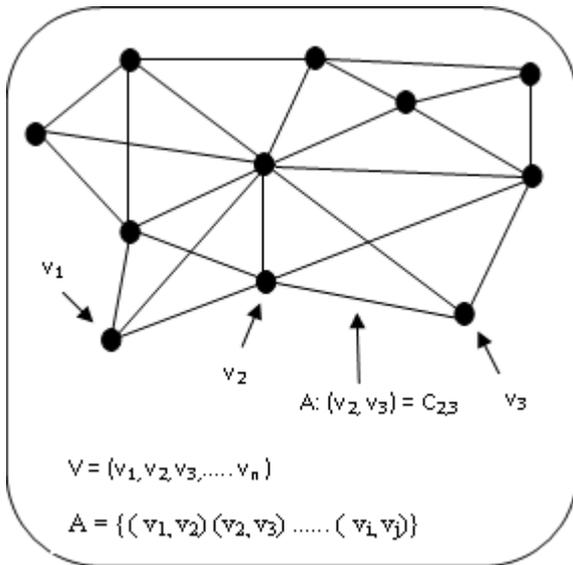
Para Novaes (2007) quando os pontos nos quais o transporte irá passar já são definidos e fixos e já se conhecem o tempo necessário para o deslocamento e a capacidade necessária para transporte o problema a ser resolvido é encontrar a ordem de deslocamentos entre os pontos que minimize a distância a ser percorrida.

A definição vista acima se refere ao problema básico de roteirização, que é cientificamente conhecido como o Problema do Caixeiro Viajante (PCV). Este problema é caracterizado pela necessidade de se traçar uma rota, partindo de um ponto e passando por diversos outros para então retornar ao ponto de origem. O objetivo é fazer o menor percurso possível passando por todos os destinos exatamente uma vez. O PCV pode ser resolvido por vários métodos e dele se desdobram outros problemas de roteirização mais complexos (BALLOU, 2006)

Gendreau, Hertz e Laporte (1992) têm uma definição matemática para o PCV, onde não é considerada a distância em si, mas o custo gerado ao percorrê-la. A definição é a seguinte: há uma figura geométrica G composta por V e A ($G = (V, A)$), onde V é um conjunto formado por vários vértices v_i , $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ e A é outro conjunto formado por pares de vértices pertencentes a V , $A = \{(v_i, v_j): v_i, v_j \in V\}$ (Figura 2). Cada par ordenado (v_i, v_j) é associado a um custo não negativo representado por $C_{i,j}$. Estando ciente disso o PCV consiste em buscar uma rota passando pelos vértices v_i que minimize o custo total formado pela soma dos $C_{i,j}$ e passe por cada vértice apenas uma vez.

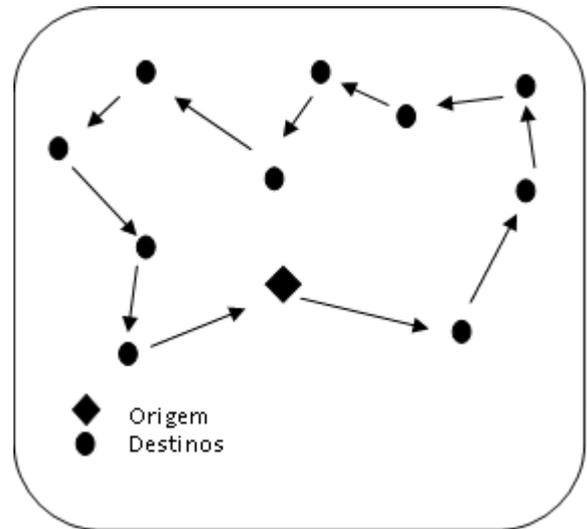
Os conceitos do PCV podem ser utilizados para solução de problemas de roteirização mais complexos. Nesse caso, um dos vértices é considerado como um centro de distribuição ou depósito e a partir dele são traçadas rotas para os demais vértices pelo critério de menor custo (Figura 3) (GENDREAU, HERTZ E LAPORTE, 1992).

Figura 2 - Representação das Variáveis do PC



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 - Representação de um roteiro do PCV



Fonte: Autoria própria.

Uma variação do PCV que torna o problema mais complexo é descrita por Mesquita (2010), é o Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios (PCVCP). A principal diferença do PCVCP para o PCV é a inclusão da necessidade de fazer coletas simultaneamente às entregas. O problema é resolvido através do desenvolvimento de uma metaheurística (Será explicada em outra seção).

2.3.3 Roteirização e Programação de Veículos

A Roteirização e Programação de Veículos (RPV) provem do problema básico de roteirização (PCV). Diferentemente do PCV ela considera restrições que tornam o problema mais complexo e real. A RPV representa os casos práticos de roteirização existentes no mundo real. Nela não se busca apenas minimizar a distância percorrida, devem-se respeitar inúmeras restrições. Essas características tornam os problemas de RPV muito complexos, o que dificulta sua solução. Por isso, existem poucos métodos que retornam soluções ótimas para esses problemas (BALLOU, 2006).

A RPV tem a sua disposição técnicas científicas desenvolvidas para correta execução, porém essa é uma atividade que em muitos casos requer bom senso de quem a executa, por isso, Ballou (2006) elencou uma série de princípios que servem para guiar a atividade:

1. Cargas que estejam destinadas a locais próximos entre si devem pertencer a uma mesma rota de entrega e, se possível, devem ser transportadas pelo mesmo veículo;

2. Caso a quantidade de entregas não possa ser feita em um mesmo dia, devem-se criar várias rotas, uma para cada dia, de forma que essas rotas não se sobreponham (não passem no mesmo lugar);
3. Quando há a necessidade de se criarem várias rotas, deve-se iniciá-las pelos pontos de entrega mais distantes;
4. O formato de uma rota diária deve ser próximo do formato de uma lágrima;
5. Quanto maiores os veículos utilizados, maior a eficiência da rota;
6. Coletas e entregas devem ser simultâneas;
7. Paradas muito distantes das demais ou que têm demanda de entrega muito inferior as demais podem ficar fora da rota e receber a entrega por outros métodos;
8. Não se deve fazer rotas com período de tempo total necessário para seu percurso muito próximo do máximo disponível, pois possíveis imprevistos podem ocorrer.

2.3.4 Restrições de um Problema de Roteirização

Percebe-se de Mesquita (2010) que restrições são características específicas de cada problema de roteirização que devem ser consideradas para sua correta solução. Em Chaves et al (2004) fica evidente que quanto maior a quantidade de restrições maior será a complexidade e dificuldade de solução do problema.

Na maior parte dos casos os métodos científicos de roteirização podem ter seus cálculos e passos executados manualmente em problemas teóricos ou de menor expressão, porém, em problemas mais complexos, com grande quantidade de pontos a serem inclusos na rota, a escolha da solução inicial por esse meio se torna inviável (NOVAES, 2007). Conforme Bertaglia (2009) isso ocorre devido à grande quantidade de variáveis em casos práticos de um problema de roteamento, o que torna a solução de problemas reais de roteirização mais complexa. Por isso, eles são resolvidos através de *softwares* especializados que são “alimentados” com os dados envolvidos no problema e retornam a rota ideal de acordo com as restrições existentes.

Conforme Ballou (2006) dentre as principais variáveis ou restrições em um problema de real de roteirização podem-se citar: o tempo necessário à entrega, a carga horária de trabalho dos funcionários, capacidade de transporte, distância a ser percorrida e o volume da carga.

Para Novaes (2007) devem-se observar as condições operacionais do problema e não apenas escolher um método e aplicá-lo sem entender completamente o que pode influenciar o

caso. É necessário ter cuidado, pois as restrições modificam características operacionais do problema. Por exemplo, quando a solução encontrada para o problema é restrita por capacidade de transporte, isso pode significar que é necessário aumentá-la (capacidade de transporte); por outro lado, quando a restrição é de tempo pode ser um indício da necessidade de mudança do local de distribuição (depósito ou CD). Geralmente, o ideal é que a solução ótima encontrada possa utilizar o máximo possível das restrições existentes, sem ultrapassar seus limites.

2.4 Métodos Científicos de Roteirização

A roteirização de veículos pode ser feita através da utilização de métodos exatos e aproximados. Conforme Góes (2005) os métodos exatos são aqueles que, considerando todas as possíveis restrições e particularidades do caso, buscam a melhor solução alcançável. Já os métodos aproximados, cientificamente conhecidos como heurísticos, são, segundo Chaves (2003), métodos que buscam a solução para um problema complexo, com grande número de variáveis e restrições, que muitas vezes não pode ser tratado por um método exato ou que, caso seja, irá requerer muito tempo para sua solução. Dessa forma, um método heurístico busca uma solução que se aproxime da solução ótima do problema, mas que seja obtida rapidamente, contudo não é possível determinar seu nível de qualidade (proximidade em relação à solução ótima).

Percebe-se pelo trabalho de Chaves (2003) que os modelos exatos aplicados a problemas de roteirização geralmente são adaptados ao problema específico, não existindo modelos gerais que se apliquem a diferentes problemas. Portanto, a maior parte dos problemas de roteamento precisa de adaptações ao caso específico. Além disso, Ballou (2006) ressalta que existem poucos problemas práticos de roteirização que são passivos de um modelo exato para sua solução.

As heurísticas normalmente são construídas para uso em problemas específicos, porém elas podem ter sua abrangência aumentada para vários problemas. Essa ampliação de seu uso é possível através da criação de uma metaheurística. Uma metaheurística pode combinar várias heurísticas na solução de um único problema (GÓES, 2005).

Conforme Novaes (2007) a maior parte dos métodos científicos de roteirização não produz uma solução final diretamente. Essa solução é construída ao longo de um processo que pode ter suas etapas executadas por métodos diferentes. Esses métodos são os de criação e os de melhoria. Os métodos de criação buscam encontrar uma solução para o problema, porém,

geralmente são ineficientes, produzindo uma solução longe da ideal. Os métodos de melhoria buscam aprimorar uma solução inicial obtida por outro método para torná-la ótima ou próxima disso.

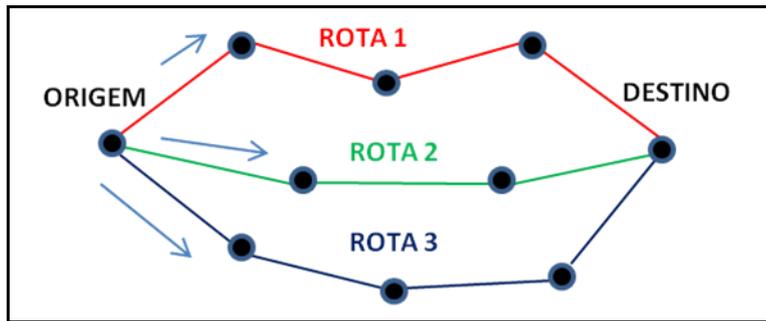
Conforme Cunha (2000) quanto maior o problema a ser analisado, maior sua dificuldade de solução, até mesmo como uso da computação. Os problemas de otimização no campo da roteirização de veículos são caracterizados com nível de dificuldade *NP-Hard* (NP - difícil no Português). Isso significa que se o tamanho do problema aumenta, sua dificuldade de resolução aumenta em maior magnitude (exponencialmente).

2.4.1 Métodos de Criação de Roteiros

2.4.1.1 Método do Caminho mais Curto

A criação de rotas pode ser feita por vários métodos. A técnica considerada de menor dificuldade é o método do caminho mais curto, também conhecida como técnica do vizinho mais próximo. Essa técnica de roteirização é utilizada quando se quer saber a forma mais rápida de deslocamento entre um ponto de saída e um destino. Ela funciona da seguinte forma: cria-se um plano no qual ficam representados o local de origem e os pontos de destino (Figura 4). As distâncias entre os pontos são determinadas em função dos custos, considerando-se as distâncias reais ou o tempo para percorrê-las, ou uma média ponderada de ambas. O objetivo do modelo é buscar o melhor caminho, que minimize a distância para chegar ao destino através de escolha do ponto mais próximo. Primeiro, desloca-se para o ponto mais próximo da origem, depois, exclui-se o ponto de partida das possibilidades de deslocamento e desloca-se para o ponto mais próximo do ponto atual e assim sucessivamente até o destino final. A rota criada é composta por todos os pontos escolhidos no processo desde a origem. Esse método é utilizado quando o problema envolve um ponto de origem e um de destino (BALLOU, 2006).

Figura 4 - Opções de Rota

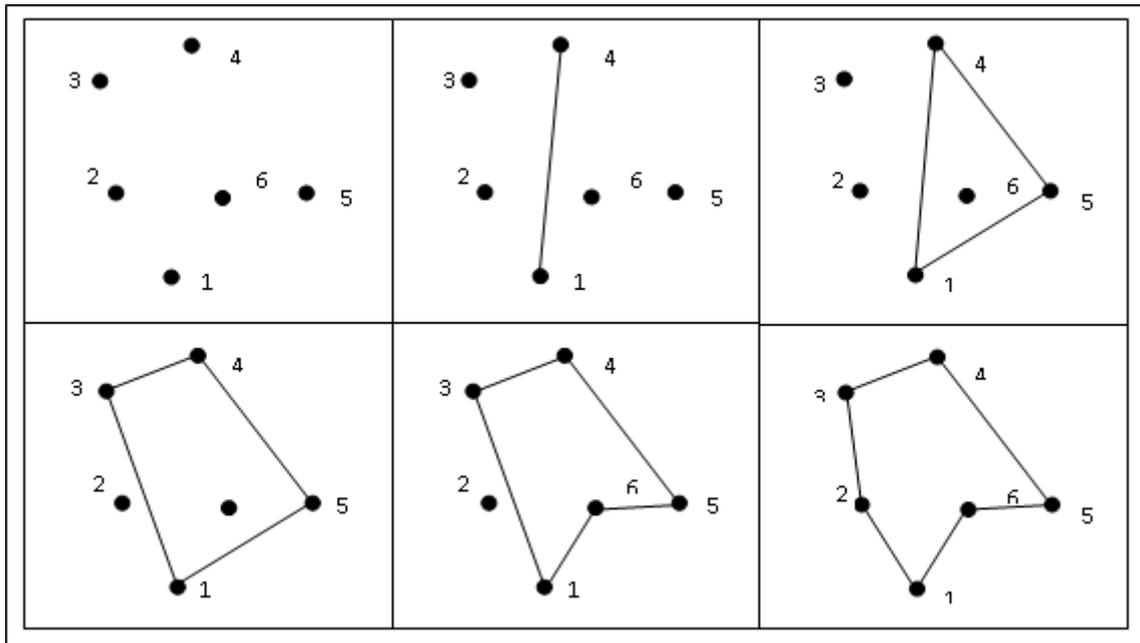


Fonte: Autoria própria.

2.4.1.2 Método do Ponto mais Distante

Para Novaes (2007) o método de inserção do ponto mais distante também é utilizado para construção inicial de um roteiro. Ele é mais eficiente que a técnica do vizinho mais próximo. Primeiro é feita a construção do plano que localiza todos os pontos por onde o transporte deve passar. Depois, pega-se um ponto qualquer para iniciar o roteiro e liga-o ao mais distante. A junção criada será a base inicial para a solução do problema. Na sequência, deve ser encontrado o ponto mais distante da junção inicial. Esse ponto deve ser incluso no roteiro, que passará a formar uma figura geométrica. Novamente a ação é repetida buscando-se o ponto mais distante dos arcos formados pela figura até a formação final do roteiro. A figura 5 mostra os passos do método (NOVAES, 2007).

Figura 5 - Etapas do método do ponto mais distante



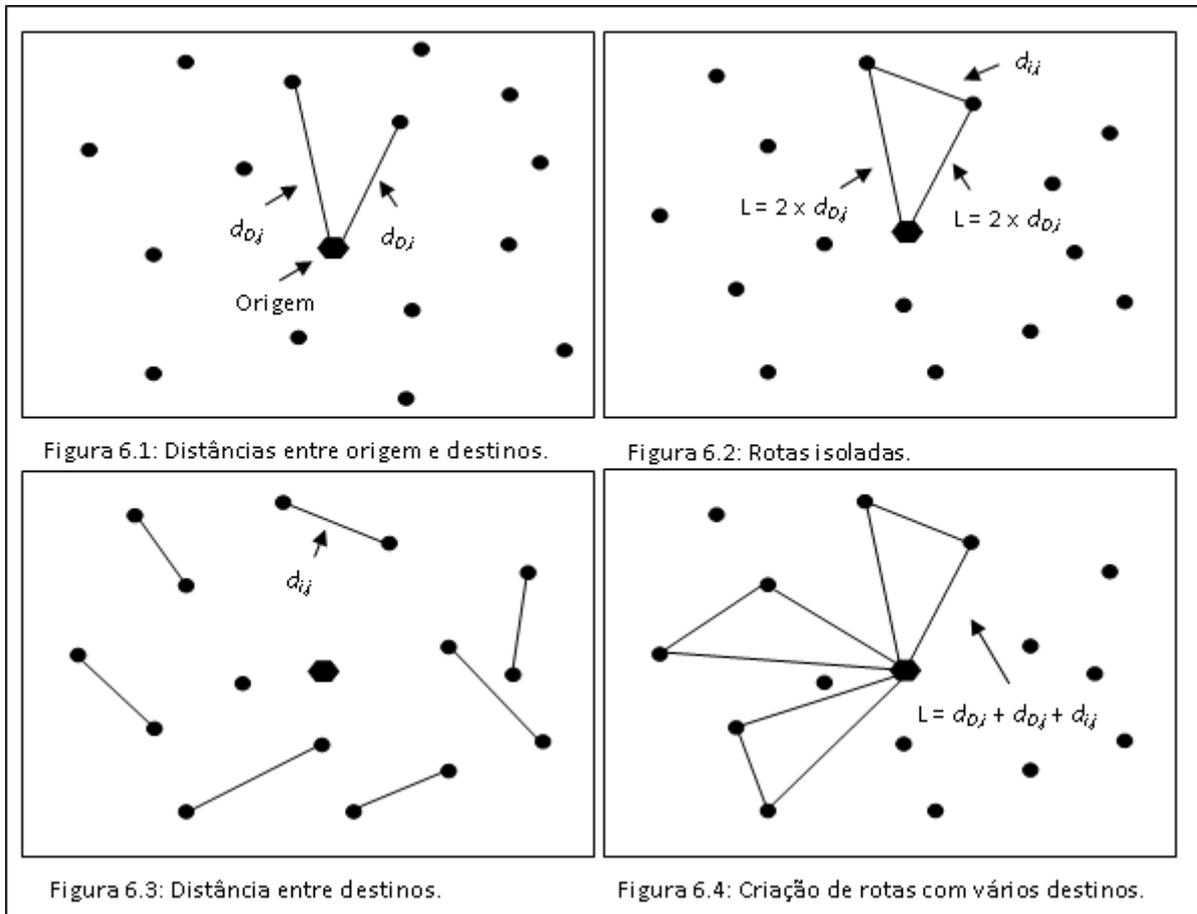
Fonte: Adaptado de Novaes (2007).

2.4.1.3 Método Clarke e Wright

O método Clarke e Wright Conforme Miura (2008) é uma heurística que produz uma rota com erro de aproximadamente 2% em relação à solução ótima. Esse método busca gerar economias com a minimização das distâncias percorridas pelos veículos através da criação de rotas de entrega de acordo com critérios rigorosos de inclusão dos destinos sem violar as restrições do problema: tempo e capacidade.

Para a criação das rotas, primeiro, criam-se rotas isoladas com uma ida e um retorno entre a origem e cada destino específico de forma a se obterem suas distâncias $d_{o,i}$ e $d_{o,j}$ (Figura 6.1). Cada rota isolada terá seu deslocamento de percurso representado pela equação $L = 2 \times d_{o,i}$ ou $L = 2 \times d_{o,j}$. Em seguida, obtêm-se as distâncias $d_{i,j}$ entre cada um dos pontos de destino combinados dois a dois (Figura 6.3). Por fim, criam-se rotas ($L = d_{o,i} + d_{o,j} + d_{i,j}$) partindo da origem que irão adicionar quantos destinos forem possíveis de acordo com as restrições de tempo e capacidade envolvidas no problema (Figuras 6.2 e 6.4). As combinações são adicionadas uma a uma ao percurso conforme seu ganho $g_{i,j}$ proporcionado, que é medido pela diferença das equações de distância de cada rota isolada e da combinação $d_{i,j}$ referente à rota ($g_{i,j} = L - L' = d_{o,i} + d_{o,j} - d_{i,j}$), tendo em vista que os destinos que proporcionam maior ganho ao percurso são os localizados a longas distâncias da origem, mas a curtas distâncias entre si (NOVAES, 2007).

Figura 6 - Passos para criação de uma rota pelo método Clarke e Wright



Fonte: Autoria própria.

Novaes (2007) descreve as principais etapas do método Clarke e Wright:

1. Calculam-se, através da equação $g_{i,j} = L - L' = d_{o,i} + d_{o,j} - d_{i,j}$, os ganhos $g_{i,j}$ obtidos com a inclusão na rota de cada uma das combinações i,j feitas entre todos os pontos de destino;
2. Ordenam-se os ganhos $g_{i,j}$ de forma decrescente;
3. Inicia-se a rota com a combinação que apresentou o maior ganho $g_{i,j}$;
4. Tenta-se incluir na rota, pela ordem listada na etapa anterior, as combinações que apresentaram maior ganho $g_{i,j}$, caso não seja possível, deve-se iniciar uma nova rota;
5. Para uma combinação i,j ser incluída em uma rota é necessário que ela atenda a alguns requisitos:
 - ❖ A combinação i,j só pode ser incluída se não fizer parte de nenhum outro roteiro já iniciado;

- ❖ Se um dos pontos de destino i,j já estiver incluso em um roteiro e fizer parte de um dos extremos desse (o primeiro ou o último ponto de destino do roteiro sem contar o ponto de origem), então o ponto i,j que não fizer parte do roteiro deve ser incluso;
 - ❖ Se ambos os pontos de uma combinação i,j pertencerem a roteiros já criados e diferentes, deve-se fundir os roteiros pelos pontos i,j , caso ambos os pontos i,j sejam extremos de seus respectivos roteiros;
 - ❖ Se a combinação i,j escolhida já fizer parte de um mesmo roteiro, deve-se seguir para a próxima etapa.
6. Sempre que um ou mais destinos forem adicionados a uma rota ou rotas forem fundidas, deve-se verificar se a operação atende às restrições do problema. Apenas são adicionados os destinos ou rotas que atendam às restrições;
 7. A roteirização está concluída quando todos os destinos estiverem inclusos em alguma rota.

2.4.1.4 Método Simplex

O Método Simplex é uma técnica matemática vinda da Programação Linear, uma área da Pesquisa Operacional, um método científico de aprimoramento de processos. O Simplex se caracteriza pelas seguidas construções de uma solução inicial, realização do teste de otimalidade e posterior melhoramento, até a solução ótima para o problema em análise ser encontrada (MEDEIROS et al, 1998).

O método Simplex será descrito com base na obra de Medeiros et al (1998):

As etapas do Simplex ocorrem através da construção de uma matriz com os valores dos coeficientes da equação geral do problema e das equações compostas por suas restrições (Tabela 1). A solução do simplex busca maximizar o resultado da equação geral de um problema respeitando suas restrições, que são expressas em outras equações. Para minimizar o resultado de uma equação deve-se multiplicá-la por -1 para transformá-la em uma equação equivalente para maximização.

Exemplo de equação criada para um problema de maximização:

maximizar $C = 2X + 3Y$

$$\text{Sujeito às restrições: } \begin{cases} 3X + 4Y \leq 50 \\ X + Y \geq 10 \\ X + 3Y = 25 \end{cases}$$

$$X \text{ e } Y \geq 0.$$

Para minimizá-la: minimizar $C = 2X + 3Y$ (-1) \rightarrow maximizar $(-C) = -2X - 3Y$.
 Minimizar equivale a maximizar a equação multiplicada por -1.

Exemplo de adição das igualdades nas equações das restrições do problema:

$$\text{Restrições} \begin{cases} 3X + 4Y \leq 50 \\ X + Y \geq 10 \\ X + 3Y = 25 \end{cases} \qquad \text{Restrições} \begin{cases} 3X + 4Y + F_1 = 50 \\ X + Y - F_2 + a_2 = 10 \\ X + 3Y + a_3 = 25 \end{cases}$$

Antes dos valores das equações serem inseridos na matriz solução é necessário fazer alguns ajustes. Primeiro, a equação principal do problema precisa ser igualada a zero antes de ser inserida na matriz solução. $C = 2X + 3Y \rightarrow C - 2X - 3Y = 0$. Segundo, para construir a matriz é necessário adicionar variáveis de folga e/ou auxiliares às equações das restrições para permitir encontrar uma solução básica inicial para o problema. Isso ocorre através da transformação das equações das restrições em igualdade. Quando as equações das restrições tiverem o sinal \geq , subtrai-se uma variável de folga F_i e adiciona-se uma variável auxiliar a_i e transforma-se o sinal \geq em $=$ onde houver. Quando as equações das restrições tiverem o sinal $=$, adiciona-se uma variável auxiliar a_i e mantém-se o sinal $=$. Quando as equações das restrições tiverem o sinal \leq , adiciona-se uma variável de folga F_i e transforma-se o sinal \leq em $=$.

Tabela 1: Exemplo de matriz para solução inicial do Simplex.

C	X	Y	F_1	F_2	a_1	a_2	b
1	-2	-3	0	0	0	0	0
0	3	4	1	-1	0	0	50
0	1	1	0	0	1	0	10
0	1	3	0	0	0	1	25

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

As variáveis auxiliares a_i não podem permanecer no modelo, pois foram introduzidas apenas para possibilitar a construção de solução básica inicial. Para removê-las naturalmente basta colocar um alto valor em seus coeficientes na equação principal (segunda linha na matriz de solução). Esse valor pode ser representado por uma letra M_i (Tabela 2).

Tabela 2: Inserção do coeficiente M para eliminar a variável auxiliar.

C	X	Y	F ₁	F ₂	a ₂	a ₃	b
1	-2	-3	0	0	M ₁	M ₃	0
0	3	4	1	-1	0	0	50
0	1	1	0	0	1	0	10
0	1	3	0	0	0	1	25

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

A solução inicial é obtida tornando-se nulos os valores das variáveis X, Y e F₂ (X, Y e F₂ = 0). Essas variáveis serão as variáveis não básicas da solução inicial, que será composta pelas variáveis básicas F₁ = 50, a₂ = 10 e a₃ = 25. Para a solução ser considerada ótima os valores dos coeficientes das variáveis na equação principal não podem ser negativos. Para encontrar a solução ótima é necessário fazer operações com as linhas da matriz solução de acordo com alguns critérios.

Para encontrar a solução ótima devem-se substituir variáveis básicas por não básicas, uma por uma. Para isso, verifica-se qual o maior coeficiente negativo absoluto na equação principal. A variável a qual esse coeficiente pertence entrará na solução inicial do problema. Para tanto, dividem-se os valores das equações das restrições contidos na coluna da solução do problema (coluna b) pelos respectivos coeficientes da coluna da variável que entrará na solução inicial, no caso 50/4, 10/1 e 25/3. O menor valor positivo resultante dessas divisões corresponderá à célula que terá valor igual a 1 (elemento pivô), as demais células da coluna terão valor nulo. O elemento pivô indica quais variáveis serão trocadas na solução, no caso do exemplo a variável Y substituirá a variável a₃ na solução do problema (Tabela 3).

Tabela 3: Elementos-pivô da nova solução.

C	X	Y	F ₁	F ₂	a ₂	a ₃	b	
1	-2	-3	0	0	M ₁	M ₃	0	
0	3	4	1	-1	0	0	50	
0	1	1	0	0	1	0	10	
0	1	3	0	0	0	1	25	Linha pivô
 Elemento pivô								

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

Para introduzir o novo elemento na solução devem-se dividir todos os coeficientes da linha (linha pivô) do elemento pivô por um número igual a ele, o que resultará em uma nova linha. A nova linha pivô será somada às demais linhas que representam as equações das restrições com o objetivo de tornar nulos os coeficientes da mesma coluna do elemento pivô.

Para isso ela será multiplicada por valores opostos aos dos coeficientes que deverão ter valor igual a zero (Tabela 4).

Tabela 4: Linhas a serem somadas às linhas da matriz solução.

0	1	3	0	0	0	1	25	$\div 3$
0	1/3	1	0	0	0	1/3	25/3	Nova linha pivô
0	1	3	0	0	0	1	25	Linha a ser adicionada à linha 2 (Nova linha * (3))
0	-4/3	-4	0	0	0	-4/3	-100/3	Linha a ser adicionada à linha 3 (Nova linha * (-4))
0	-1/3	-1	0	0	0	-1/3	-25/3	Linha a ser adicionada à linha 4 (Nova linha * (-1))

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

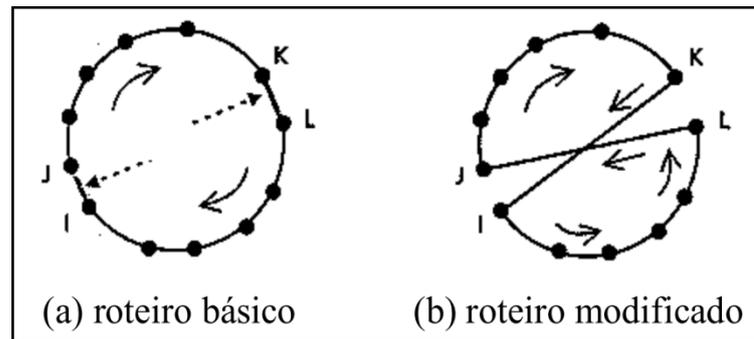
Após as somas das linhas, uma nova matriz solução é obtida, caso os coeficientes da equação principal (na segunda linha) sejam todos positivos, a solução é ótima, caso existam valores negativos, deve-se repetir o processo e substituir uma variável não básica por uma básica de acordo com os critérios já vistos. Não é preciso se preocupar com os valores M_i das variáveis auxiliares, pois eles são muito altos e não ficarão negativos, além disso, na solução final as variáveis auxiliares já estarão nulas.

2.4.2 Métodos de Melhoria de Roteiro

Conforme Cunha Bonasser e Abrahão (2002) os principais métodos de aprimoramento de uma solução inicial encontrada para um problema de roteirização são os métodos do tipo k-opt que foram desenvolvidos por Lin e Kernighan (1973). Opt vem do inglês optimal que em português pode ser traduzido com ideal ou ótimo. Esses métodos são executados por computador e quanto maior o valor “k” maior a necessidade de cálculo do computador e o tempo necessário à operação. Os k-opts mais utilizados são o 2-opt e o 3-opt.

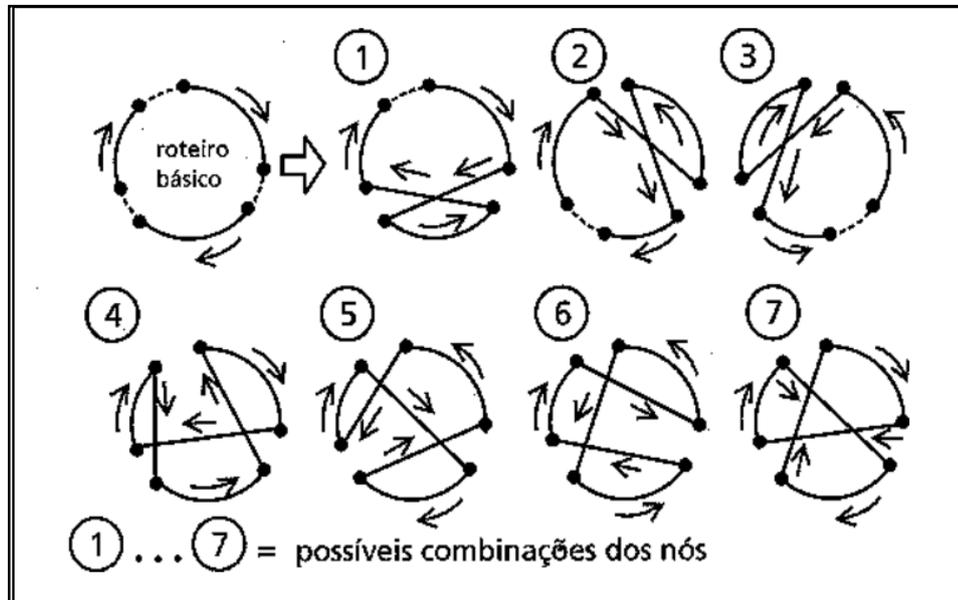
Os modelos 2-opt e 3-opt partem de um roteiro inicial e tentam, através da substituição de pares (2-opt) ou trios (3-opt) de arcos de solução nesse roteiro, diminuir o deslocamento total do percurso (Figuras 7 e 8). Após as substituições serem feitas, o deslocamento total é recalculado, se houver melhoria em relação à solução anterior, a nova solução é mantida. Independente de uma solução melhor ser encontrada ou não as substituições serão feitas até todas as possíveis modificações serem testadas (NOVAES, 2007).

Figura 7 - Exemplo de movimentos pelo método 2-opt



Fonte: Novaes (2007).

Figura 8 - Exemplo de movimentos pelo método 3-opt



Fonte: Novaes (2007).

2.4.3 Algoritmo do Transporte

Quando a roteirização envolve diferentes pontos de origem e de destino e há a necessidade de combinar cargas para atender a demanda dos clientes, ou seja, cada ponto de origem tem sua disponibilidade de produtos, e pode ter diferentes produtos, e cada destino tem sua demanda, que também pode ser por diferentes produtos, pode-se aplicar um algoritmo matemático conhecido como Algoritmo do Transporte para solucionar o problema (BALLOU, 2006).

Agora será abordado um problema clássico de roteirização conhecido como Problema do Transporte. Ele será resolvido por um algoritmo matemático exato, o Algoritmo do

Transporte. Esse é um método peculiar de roteamento porque ele tanto cria como melhora o roteiro através de heurísticas e cálculos matemáticos. Os exemplos e a parte teórica para sua solução foram baseados na obra de Medeiros et al (1998).

Conforme Medeiros et al (1998) o Problema do Transporte é um algoritmo matemático pertencente à Pesquisa Operacional, um método científico que busca a melhor solução possível para um processo. Ele é um problema de roteirização no qual existem vários pontos de saída e vários destinos e sabem-se todos os custos unitários de transporte de cada origem para cada destino bem como suas disponibilidades e demandas. Então o problema requer que se encontre a quantidade a ser transportada das origens para os destinos, respeitando as quantidades de produtos em cada origem e as demandas de cada destino com o menor custo possível. O Problema do Transporte busca atender às demandas e minimizar o custo de transporte. Os autores apresentam dois métodos para sua resolução: o método simplex e um algoritmo que mescla equações exatas com heurísticas.

Como visto em Ballou (2006) o Problema do Transporte não se encaixa na Roteirização e Programação de Veículos devido a não existência de restrições mais realistas. Nele consideram-se apenas quantidade a ser transportada e custo. Sua importância nesse trabalho reside na exemplificação de um método exato de roteirização.

O uso do algoritmo do transporte para a solução do Problema do Transporte será descrita com base na obra de Medeiros et al (1998).

O problema é organizado numa tabela matriz (Tabela 5). Cada custo unitário de transporte das origens (linhas O_i) para os destinos (colunas D_j) é representado por C_{ij} , onde i representa uma origem e j um destino (Tabela 5). Cada origem tem sua disponibilidade total de produtos e cada destino tem sua demanda total por produtos. Depois de encontrados os valores de cada C_{ij} e das disponibilidades, cria-se uma equação linear que representará o custo total da operação e então, busca-se minimizá-la.

Tabela 5 - Tabela dos Custos Unitários, Disponibilidades e Necessidades

Destinos Origens	D_1	D_2	D_3	Disponibilidades
O_1	10	15	6	50
O_2	8	20	12	10
O_3	18	9	14	40
Necessidades	20	30	50	100

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

Exemplo de equação para o problema de transporte criado com base nos dados da tabela 1:

$$\min. C = 10X_{11} + 15X_{12} + 6X_{13} + 8X_{21} + 20X_{22} + 12X_{23} + 18X_{31} + 9X_{32} + 14X_{33}$$

$$\text{Sujeito às restrições: } \begin{cases} 10X_{11} + 15X_{12} + 6X_{13} = 50 \\ 8X_{21} + 20X_{22} + 12X_{23} = 10 \\ 18X_{31} + 9X_{32} + 14X_{33} = 40 \\ 10X_{11} + 8X_{21} + 18X_{31} = 20 \\ 15X_{12} + 20X_{22} + 9X_{32} = 30 \\ 6X_{13} + 12X_{23} + 14X_{33} = 50 \end{cases}$$

$$X_{ij} \geq 0 \text{ para } i = 1, 2, 3 \text{ e } j = 1, 2, 3.$$

No problema padrão de transporte o total das demandas e das disponibilidades de produtos é igual. Porém, no mundo real isso dificilmente ocorre. Quando as disponibilidades totais das origens são superiores ao total das demandas ou ao contrário, criam-se origens ou destinos auxiliares, os quais devem ter custos unitários iguais a zero (Tabela 6). Isso se deve ao fato da necessidade de equilíbrio do modelo. Se necessárias, as quantidades auxiliares ficam faltando nos destinos ou permanecem nas origens, conforme o caso.

Tabela 6 - Matriz dos Custos Unitários com Ajuste

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	10	15	6	50
O ₂	8	20	12	10
O ₃	18	9	14	40
A	0	0	0	20
	30	40	50	120
				120

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

A construção da solução do Problema de Transporte passa por duas fases. Na primeira é calculada uma solução inicial (Tabela 7), que pode ser feita de duas formas básicas: o método do canto noroeste e o método das penalidades de Vogel. Ambos trazem uma solução inicial que normalmente necessita ser aprimorada. A segunda fase é a fase de aprimoramento ou melhoria da solução obtida. É importante notar a diferença entre a tabela de custos e a de solução inicial, pois a primeira armazena em suas células centrais os custos de transporte, já a segunda armazena as quantidades a serem transportadas.

Tabela 7 - Exemplo de Solução Inicial

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	20	30		50
O ₂			10	10
O ₃			40	40
	20	30	50	100
				100

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

O método do canto noroeste é o mais simples. Primeiro, monta-se um tabela matriz com as necessidades totais e as disponibilidades (Figura 9), a partir de então se preenchem as células em branco começando pelo canto superior esquerdo de forma a respeitar as restrições das necessidades e disponibilidades. O valor alocado em cada célula deve ser o maior possível. As alocações seguintes são feitas para baixo ou para a direita, conforme a restrição ainda não esteja preenchida. O processo é repetido até que todas as disponibilidades estejam satisfeitas.

Figura 9 - Construção da solução inicial pelo Método do Canto Noroeste

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	20			50
O ₂				10
O ₃				40
	20	30	50	100
				100
Primeira Etapa				
	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	20	30		50
O ₂			10	10
O ₃				40
	20	30	50	100
				100
Segunda Etapa				
	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	20	30		50
O ₂			10	10
O ₃			40	40
	20	30	50	100
				100
Terceira Etapa				
	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	20	30		50
O ₂			10	10
O ₃			40	40
	20	30	50	100
				100
Solução Inicial				

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

As penalidades de Vogel é o segundo método. Nele se calculam penalidades (uma penalidade é dita como a diferença positiva entre os dois menores custos unitários de uma linha ou coluna) para cada coluna e cada linha da tabela matriz.

Medeiros at al (1998, p. 101) define o método das penalidades como:

“A idéia do método é fazer o transporte com prioridade na linha ou coluna que representa a maior penalidade. Como o transporte é feito na célula de menor custo, tenta-se evitar com isso o transporte na célula de custo maior, evitando-se assim incorrer num aumento de custo igual à penalidade calculada”.

Descrição das etapas do método conforme Medeiros at al (1998):

- Calcular a penalidade para cada linha ou coluna. Escolher a linha ou coluna para transporte, que tenha a maior penalidade. Caso haja empate, escolha arbitrariamente uma delas (Tabela 8);
- Transportar o máximo possível na linha ou coluna escolhida, elegendo a célula de menor custo unitário de transporte. Esse procedimento zera a oferta ou demanda da célula correspondente. A linha ou coluna que tenha sua disponibilidade zerada deve ser eliminada (Tabela 9);
- Retornar a primeira etapa, até que todos os transportes tenham sido realizados.

Na continuação da solução as penalidades são calculadas e a célula de menor custo de transporte da linha ou coluna com maior penalidade será introduzida na solução do problema (Tabelas 8 e 9)

Tabela 8 – Tabela de Custos entre Origens e Destinos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	10	15	7	50
O ₂	8	20	12	10
O ₃	18	9	14	40
	20	30	50	100

$10 - 7 = 3$
 $12 - 8 = 4$
 $14 - 9 = 5$

$10 - 8 = 2$
 $15 - 9 = 6$
 $12 - 7 = 5$

Penalidades

Fonte: Adaptado de Medeiros at al (1998).

Tabela 9 - Tabela de Solução

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁				50
O ₂				10
O ₃		30		40
	20	30	50	100 100

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

A coluna com demanda de 30 foi totalmente preenchida e não poderá receber mais valores em suas células (Tabela 10). A solução continua com o cálculo das novas penalidades com os valores das células que restaram. Após determinar a linha ou coluna com maior penalidade, insere-se na tabela solução a célula de menor custo total correspondente à linha ou coluna, conforme o caso (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	10	15	7	50
O ₂	8	20	12	10
O ₃	18	9	14	40
	20	30	50	100 100
	10 - 8 = 2	15 - 9 = 6	12 - 7 = 5	Penalidades

$10 - 7 = 3$
 $12 - 8 = 4$
 $18 - 14 = 4$

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

Tabela 11 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁			50	50
O ₂				10
O ₃		30		40
	20	30	50	100 100

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

No caso desse exemplo, apenas a primeira coluna (Tabela 12) ainda não teve sua demanda completamente atendida, restando 10 unidades. Dessa forma, não é mais necessário

calcular as penalidades, apenas preencham-se valores restantes conforme as restrições (Tabelas 13 e 14).

Tabela 12 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	10	15	7	50
O ₂	8	20	12	10
O ₃	18	9	14	40
	20	30	50	100

$$18 - 8 = 10$$

Penalidades

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

Tabela 13 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁			50	50
O ₂	10			10
O ₃		30		40
	20	30	50	100

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

Tabela 14 - Tabela de Custos entre Origens e Destinos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁			50	50
O ₂	10			10
O ₃	10	30		40
	20	30	50	100

Fonte: Adaptado de Medeiros et al (1998).

Para finalizar a resolução do Problema do Transporte é necessário identificar se a solução inicial é a ótima possível para o modelo ou se ela ainda pode ser melhorada. Para determinar a necessidade de melhoria deve-se escrever a função objetivo multiplicando-se cada restrição de linha pelo número - U_i e cada restrição de coluna pelo número - V_j . Depois, somam-se as novas colunas e as novas linhas, obtendo-se o resultado nas igualdades das equações (Tabela 17). Nas equações com variáveis básicas o valor da igualdade deve ser igual

a zero (se X_{ij} é uma variável básica então $C_{ij} - U_i - V_j = 0$) (Tabela 17). A solução é ótima quando o valor dos coeficientes de todas as variáveis não básicas (as variáveis que têm valor nulo na solução inicial) da equação forem maiores ou iguais a zero. Quando houver resultados negativos significa que a solução não é ótima.

Tabela 15 - Exemplo de Matriz de Custos

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	6	5	8	10
O ₂	13	12	1	20
O ₃	7	9	5	12
	10	6	4	13
	8	32	15	55

Fonte: Medeiros et al (1998).

Tabela 16 - Exemplo de Solução Inicial

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	8	2		10
O ₂		20		20
O ₃		10	2	12
			13	13
	8	32	15	55

Fonte: Medeiros et al (1998).

Tabela 17 - Equações em função das variáveis básicas

Variáveis Básicas	Equações em Função dos Custos Unitários das Variáveis Básicas	Substituição do Valor do Custo Unitário
X_{11}	$C_{11} - U_1 - V_1 = 0$	$6 - U_1 - V_1 = 0$
X_{12}	$C_{12} - U_1 - V_2 = 0$	$5 - U_1 - V_2 = 0$
X_{22}	$C_{22} - U_2 - V_2 = 0$	$12 - U_2 - V_2 = 0$
X_{32}	$C_{32} - U_3 - V_2 = 0$	$9 - U_3 - V_2 = 0$
X_{33}	$C_{32} - U_3 - V_3 = 0$	$5 - U_3 - V_3 = 0$
X_{43}	$C_{32} - U_4 - V_3 = 0$	$4 - U_4 - V_3 = 0$

Fonte: Medeiros et al (1998).

Quando o sistema de equações estiver pronto, atribui-se arbitrariamente um valor a uma das incógnitas (U_i ou V_j) em uma equação composta por variáveis básicas e faz-se a substituição nas equações das variáveis não básicas. Se todos os valores encontrados nas igualdades das equações com variáveis não básicas forem positivos, a solução atual é ótima para o modelo, caso haja valores negativos, a solução pode ser melhorada.

Fazendo a incógnita $U_1 = 0$ obtêm-se os seguintes valores para as demais nas equações com variáveis básicas (Tabela 18):

Tabela 18 - Valores das Variáveis U_i e V_j

$6 - U_1 - V_1 = 0$	$V_1 = 6$
$5 - U_1 - V_2 = 0$	$V_2 = 5$
$12 - U_2 - V_2 = 0$	$U_2 = 7$
$9 - U_3 - V_2 = 0$	$U_3 = 4$
$5 - U_3 - V_3 = 0$	$V_3 = 1$
$4 - U_4 - V_3 = 0$	$U_4 = 3$

Fonte: Medeiros et al (1998).

Substituindo os valores encontrados para as incógnitas U_i e V_j encontram-se os valores dos coeficientes das equações com variáveis não básicas (Tabela 19).

Tabela 19 - Valor dos Coeficientes das Variáveis Não Básicas

Variáveis Não Básicas	Equações em Função dos Custos Unitários das Variáveis Não Básicas	Substituição do Valor do Custo Unitário
X_{13}	$C_{13} - U_1 - V_3$	$8 - 0 - 1 = 7$
X_{21}	$C_{21} - U_2 - V_1$	$13 - 7 - 6 = 0$
X_{23}	$C_{23} - U_2 - V_3$	$1 - 7 - 6 = -7$
X_{31}	$C_{31} - U_3 - V_1$	$7 - 4 - 6 = -3$
X_{41}	$C_{41} - U_4 - V_1$	$10 - 3 - 6 = 1$
X_{42}	$C_{42} - U_4 - V_2$	$6 - 3 - 5 = -2$

Fonte: Medeiros et al (1998).

Como verificado acima, a solução não é ótima. Portanto, é necessário aprimorá-la. Para melhorar a solução inicial deve-se pegar a célula referente à variável não básica cujo resultado negativo anteriormente calculado seja o maior encontrado, em termos absolutos. Então, preenche-se essa célula com o maior valor possível que atenda as restrições de coluna e linha. Na sequência faz-se a compensação dos valores das células em torno da que teve o valor inserido para atender as restrições de linhas e colunas, que foram ultrapassadas devido à inserção do novo valor.

A variável com maior valor negativo absoluto é X_{23} . No seu local na matriz será inserida a nova quantidade a ser transportada, que será denotada por Z . O valor Z será somado e subtraído às quantidades de outras células de forma a respeitar as restrições de linha e coluna. Isso é feito através de um circuito que começa e termina no local onde o valor Z for inserido (Tabela 20). O valor a ser assumido por Z é igual ao menor valor dentre as variáveis básicas as quais Z foi subtraído (Tabela 21).

Tabela 20 - Circuito de Compensação

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	8	2		10
O ₂		20 - Z	Z	20
O ₃		10 + Z	2 - Z	12
O ₄			13	13
	8	32	15	55

Fonte: Medeiros et al (1998).

Tabela 21: Substituição no Circuito.

	D ₁	D ₂	D ₃	
O ₁	8	2		10
O ₂		20 - 2	2	20
O ₃		10 + 2	2 - 2	12
O ₄			13	13
	8	32	15	55

Fonte: Medeiros et al (1998).

Após encontrar a nova solução básica deve-se novamente verificar se ela é a solução ótima. Esse processo deve ser repetido até não restar coeficientes negativos nas equações que contêm as variáveis não básicas.

2.5 Estudos Brasileiros sobre Roteirização

Para Bowersox e Closs (2007) o desenvolvimento e uso de modelos ou ferramentas para melhorar o desempenho logístico é uma das atividades que mais desperta interesse na administração, tanto pública quanto privada.

Como visto no referencial teórico, os métodos científicos de roteirização utilizados através de softwares são uma poderosa ferramenta para aprimoramento da atividade logística de roteirização. Porém, como visto na introdução, apesar de seu uso atualmente ser difundido e ter comprovada eficácia ainda há empresas que não os utilizam.

O trabalho de Melo e Ferreira Filho (2001) ressalta que o uso de *softwares* para roteirização dos transportes logísticos proporciona dois grandes benefícios para as organizações. Primeiro, proporciona diminuição nos custos da atividade de transportes e conseqüentemente nos custos totais. Segundo, permite melhorar o desempenho operacional, o que melhora o nível de serviço prestado. Esses dois benefícios podem permitir às empresas gerar diferenciação competitiva.

Visto isso, esta parte do trabalho pretende mostrar casos práticos onde a roteirização com base em métodos científicos proporciona ganhos reais ou hipotéticos às empresas, melhorando sua eficiência de custos e operacional. Os casos foram escolhidos por terem algumas características semelhantes ao estudo de caso desenvolvido nesse trabalho e contido no Capítulo 3.

2.5.1 Caso 1: Uso de Roteirização de Veículos na Distribuição de Alimentos

O primeiro caso a ser abordado está contido em Souza Neto (2010). O objetivo do trabalho foi implementar a roteirização de veículos baseada em um método científico na distribuição de produtos feita por uma empresa distribuidora de alimentos. Nele buscou-se melhorar as rotas de entrega já existentes, ter mais controle sobre as variáveis da atividade e reduzir os custos.

O trabalho consistiu de um estudo para viabilizar uma possível implantação da roteirização de veículos por uma empresa de distribuição de alimentos localizada na cidade de Currais Novos – RN. No estudo foi utilizado um método científico de roteirização que foi abordado no referencial teórico deste trabalho, o método Clarke e Wright.

As entregas da empresa acima citada abrangem quatro micro-regiões (Seridó, Central, Agreste Potiguar e Salineira). Essas regiões somadas totalizam 71 municípios.

As principais restrições do problema são: tempo, distância e capacidade de transporte. As principais restrições e características do problema quando o estudo foi aplicado estão na tabela 22.

Tabela 22 - Restrições e características do problema de roteirização

Carga Horária de Trabalho	07h00min às 17h00min
Dias de Entrega por Semana	Segunda a Sábado
Número de Veículos	4
Capacidade do Veículo	3 veículos com 8 toneladas e 1 com meia
Funcionários por Veículo	2
Possibilidade de Horas Extras por Dia	2h

Fonte: Adaptado de Souza Neto (2010).

O estudo foi aplicado apenas nas entregas destinadas à região do Seridó, que abrange 22 municípios. O ponto de origem das rotas é um depósito localizado no município de Currais Novos. As características do sistema de distribuição já existente na empresa quando o estudo foi aplicado eram as seguintes:

1. Cada município é visitado uma vez por semana;
2. Das quatro micro-regiões, duas são atendidas por um único veículo, e duas são atendidas por um veículo cada (O veículo de menor capacidade é utilizado apenas para entregas dentro do município de Currais Novos);
3. Os caminhões saem do depósito com carga máxima;
4. Cada rota tem média de cinco municípios percorridos.

O sistema de roteamento utilizado pela empresa na época do estudo causava alguns problemas, a saber:

1. Falta de produtos nos locais demandados;
2. Incerteza no abastecimento;
3. Inconsistência nas entregas;
4. Incerteza da demanda;
5. Insatisfação dos clientes em relação aos produtos/serviços da empresa.

O estudo e a aplicação do método científico de roteirização ao problema por Souza Neto (2010) seguiu os seguintes passos:

1. Construir uma matriz de distância entre todas as localidades, inclusive Currais Novos (CD), utilizando-se os dados relativos às distâncias rodoviárias disponibilizados pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR), através do Sistema de Coordenadas Geodésicas e Percursos entre Municípios Brasileiros.
2. Construção da matriz de economias advindas da junção de duas localidades em uma única rota;
3. Designar localidades às respectivas rotas seguindo a restrição de tempo total de jornada de trabalho. Para realização do cálculo do tempo de rota foram observados os seguintes parâmetros:
 - a. Jornada de trabalho com duração de 09 horas, com início às 07 horas da manhã. É oportuno frisar que esta jornada poderá ser estendida por mais 02 horas, se necessário;
 - b. 01 hora da jornada de trabalho destinada como horário de almoço;
 - c. Tempo médio de atendimento em cada localidade de 60 minutos, exceto para a cidade de Caicó;
 - d. Não foi considerado tempo de carga, devido esta operação ser realizada por outra equipe, antes do início da jornada de trabalho de motorista e ajudante;
 - e. O tempo de deslocamento entre as localidades foi baseado em uma velocidade média dos veículos de 60 km/hora.
4. Organizar as localidades dentro das rotas pelo procedimento de seqüenciamento do vizinho mais próximo;

5. Calcular a distância total percorrida e tempo de ciclo de cada rota, através do somatório do tempo de todas as operações, inclusive tempo de retorno ao CD;
6. Quantificar os custos com combustível para cada rota, baseada na média de consumo de 05 quilômetros por litro de óleo diesel.

O resultado do estudo alcançou o objetivo proposto. A construção das novas rotas com base em um método científico tornou-as mais eficientes, o que gerou economia de tempo e otimizou a utilização dos veículos. Isso permitiu dispor de um dia livre por semana, que foi utilizado para manutenção dos veículos. O mapeamento necessário para construção das novas rotas permitiu maior controle sobre as variáveis e fatores que influenciam o desempenho da atividade, como: as distâncias exatas e os custos com os veículos. Com o controle das restrições e variáveis foi possível aumentar a consistência das entregas e definir o dia exato para sua execução. Também foi constatada diminuição nos custos da operação.

O trabalho produzido por Souza Neto (2010) reforça ainda mais o propósito deste trabalho, pois nele foram evidenciadas duas proposições aqui feitas, primeiro, os métodos científicos de roteirização melhoram a produtividade das rotas de entregas e diminuem os custos, segundo, ainda há empresas que não os utilizam em suas atividades de distribuição física.

2.5.2 Caso 2: Roteirização de Veículos e Localização de Um Centro de Distribuição

O segundo caso a ser exposto está contido em Ilton Júnior et al (2012). Esse trabalho buscou determinar a melhor localização para um centro de distribuição de uma empresa e propor novas rotas de transporte na distribuição dos produtos. Esse estudo foi aplicado com o uso de modelos científicos. A empresa que dele fez parte comercializa água mineral e está localizada no Sul de Minas Gerais. Seus principais clientes estão localizados no estado do Rio de Janeiro.

O problema de aplicação do estudo tem duas características importantes. Primeiro, a dificuldade de acesso à fonte de água da empresa, que é possível apenas por transporte rodoviário. Segundo, a empresa não mantém controle sobre algumas das variáveis da atividade, o que não permite identificar se as rotas existentes são eficientes.

A determinação do melhor ponto de localização para o Centro de Distribuição (CD) da empresa foi obtida através do método do Centro de Gravidade, método abordado por Ballou (2006). Para isso foi necessário fazer o mapeamento dos locais envolvidos no processo de

distribuição. As novas rotas de transporte foram determinadas pelo uso do Método Matricial de Economia.

Agora serão exibidas as características do problema no momento da aplicação do estudo de acordo com Ilton Júnior et al (2012).

A empresa envasilha e distribui água em galões de 20 litros. O atual CD da empresa está localizado junto à fonte e o transporte dos galões é feito exclusivamente por rodovias. A frota da empresa é composta por três caminhões, que têm suas dimensões e capacidade limitadas devido às condições da região onde trafegam (deslocamento por ruas não asfaltadas, passagem através pequenas pontes e deslocamento em regiões serranas). Cada veículo tem capacidade para transportar 750 galões de água. A demanda semanal é de 7350 galões. Cada cliente demanda em média 150 galões por semana. As entregas são realizadas de Segunda à Sexta das 7 às 19 horas. A empresa tem 49 clientes. As atuais rotas de entrega feitas pela empresa foram determinadas de forma empírica.

A primeira consideração do estudo foi avaliar a localização do CD. Após a aplicação dos conceitos teóricos levantados pelos autores chegou-se a consideração de que o local original do centro de distribuição não era o ideal. Encontrou um novo local considerado mais adequado para a distribuição.

Depois das considerações sobre o CD, buscou-se determinar novas rotas. Cada rota foi determinada considerando-se que cada veículo sairia do CD e retornaria. Além disso, cada veículo teria capacidade de transportar 750 galões de água por dia e atender a cinco clientes.

Para criação das rotas foram consideradas duas hipóteses:

- a) As rotas teriam como ponto de origem o CD atual;
- b) As rotas teriam como ponto de origem o novo CD determinado pelo Método do Centro de Gravidade.

Ambas as novas rotas traçadas pelo Método Matricial de Economias e considerando as diferentes hipóteses se mostraram mais eficientes do que as rotas empíricas já existentes na distribuição empresa.

A aplicação do estudo concluiu que o local original do centro de distribuição não era o ideal. Porém, quando foram traçadas as novas rotas constatou-se que a construção de um novo CD não seria viável. As novas rotas determinadas pelo Método Matricial mostraram-se mais eficientes que a rota original determinada pela empresa. Entretanto, as rotas traçadas com base na primeira hipótese se mostraram mais eficientes, pois permitiram utilizar um veículo a menos e percorrer a menor distância entre as três opções. As rotas com base na segunda

hipótese, além de serem menos eficientes ainda tinham a desvantagem da necessidade de construção de um novo Centro de Distribuição.

2.5.3 Caso 3: Roteirização de Veículos Automatizada

O terceiro caso é um estudo que visa melhorar o desempenho de rotas de transporte e gerá-las de forma automatizada através de métodos de roteirização e programação de veículos com o uso de computador. O estudo foi desenvolvido por Cunha e Znamensky (1999) e aplicado ao serviço de transporte de passageiros (ida e volta) com dificuldade de mobilidade.

O serviço de transporte neste caso é oferecido pela São Paulo Transportes SA, uma autarquia do município de São Paulo. Ele é oferecido desde 1996 e em 1999, ano do estudo, atendia aproximadamente 480 pessoas por dia e utilizava uma frota de 102 veículos de pequeno porte.

O problema estudado é um tipo específico de problema de roteirização de transporte de pessoas. O problema se caracterizava como: estático, com grande frota disponível e heterogênea, múltiplos pontos de origem, restrições de períodos de tempo para embarque e desembarque, capacidade do veículo e precedência de embarques em relação a desembarques.

Para solução do problema foi utilizada uma função matemática que buscou minimizar os custos através da diminuição da distância percorrida, do número de veículos utilizados e do tempo total das viagens. Para resolvê-la foi utilizada uma adaptação de uma heurística desenvolvida por Madsen et al (1995) e a solução obtida foi aprimorada utilizando os conceitos de uma técnica desenvolvida por Toth e Vigo (1996). As rotas originais criadas pela empresa eram calculadas manualmente.

Os dados utilizados na aplicação dos métodos de resolução do problema representaram um dia de utilização do serviço em 1998 com um total de 349 requisições do uso do transporte. A disponibilidade de veículos para atender as requisições foi de 84 veículos localizados em 47 pontos diferentes dentro da cidade de São Paulo. Para determinar o tempo das viagens foi necessário estabelecer a velocidade de locomoção e calcular a distância a ser percorrida. Para tanto, foram adotadas velocidades médias constantes de acordo com três faixas de distância consideradas (curtas, médias e longas). O objetivo da solução final foi minimizar o percurso.

O resultado final do estudo mostrou que as novas rotas programadas por computador possibilitaram a utilização de apenas 69% da frota de veículos disponível para os transportes. O resultado do estudo foi considerado bem sucedido porque as novas rotas se mostraram mais

eficientes do que as rotas calculadas manualmente pela empresa. Além disso, os resultados foram obtidos em pouco tempo, o que é bom, pois conforme visto na teoria uma das maiores dificuldades da aplicação comercial de métodos de roteirização é a dificuldade de se obterem soluções confiáveis em tempo hábil.

Este estudo de caso, apesar de não abordar a roteirização de cargas e de ter sido implantado há bastante tempo, também é importante para esse trabalho porque evidencia os métodos científicos de roteirização como ferramentas úteis à melhoria de produtividade e diminuição dos custos da área de transporte.

2.5.4 Caso 4: Roteirização de Veículos na Distribuição em um Centro Urbano

O quarto caso foi retirado de trabalho de Tsuda (2007) e trata da aplicação de um método científico de roteirização na distribuição de mercadorias por uma empresa importadora de produtos japoneses.

A empresa está localizada em São Paulo e é denominada TRADBRAS Importação e Exportação. Ela tem atuação em todo o país, mas a maior parte de suas operações se concentra no estado de São Paulo. As mercadorias por ela importadas e distribuídas são: bebidas, alimentos, utilidades domésticas e artigos para pesca. Seus principais clientes são restaurantes de diversos portes. As mercadorias são transportadas em caixas de mesmo tamanho.

As demandas dos clientes têm volumes variados e os destinos são pulverizados. As rotas partem de um depósito central e as entregas são feitas com o uso de veículos e funcionários (motorista e ajudante) terceirizados. Os roteiros são determinados pela própria empresa importadora. Não há um método formal de roteirização de veículos que utilize conceitos científicos.

Os roteiros de entrega são estabelecidos ao longo da semana e atendem a uma ordem preferencial de acordo com o porte do cliente e o tamanho do pedido. Há a determinação dos pontos de destino, mas fica a critério do motorista o roteiro a ser seguido. Há casos em que os veículos não conseguem atender as demandas diárias com um carregamento só e são recarregados com capacidade ociosa. A frota de veículos para as entregas foi composta por dois veículos com capacidade de carga de 1,5 toneladas ou 60 caixas. Cada veículo dispunha de um motorista e um ajudante.

Para solução do problema foi utilizado um modelo adaptado do método de Varredura, que é uma heurística que pode ser vista em Novaes (2007). Nele buscou-se encontrar o menor

custo possível sem violar as restrições do problema. A solução do modelo foi obtida através do uso de *softwares* adaptados para seu cálculo. Os *softwares* utilizados foram o Microsoft Excel combinado com o What's Best da empresa Lindo Systems Inc.

As restrições do problema foram as seguintes: capacidade de carga dos veículos, número de veículos, jornada de trabalho, localização dos pontos de entrega, custo das entregas, distância e ordem de atendimento das entregas.

O resultado final da aplicação do modelo encontrou rotas que reduziram os custos do transporte e diminuíram em aproximadamente 18% da distância total percorrida pelos veículos. O modelo foi aplicado várias vezes com número crescendo de pontos de entrega, envolvendo as quantidades das possíveis demandas de entregas da empresa. Apesar do número crescente dos pontos de entrega os tempos computacionais em todos os modelos testados não foram inviáveis do ponto de vista comercial.

2.5.5 Conclusões sobre os Casos

Estes casos apresentados ressaltam a importância e o potencial dos métodos científicos de roteirização para o aprimoramento e eficiência da atividade logística de transportes. Neles foram evidenciados: diminuição dos custos, diminuição da frota de transportes necessária e diminuição do tempo total das entregas. Portanto, eles mostram que o uso de métodos científicos de roteirização pode ser uma ferramenta de grande valor para as organizações, pois ajuda a melhorar sua eficiência operacional da atividade de transporte logístico. As principais características e os benefícios obtidos com os estudos apresentados nessa sessão podem ser vistos na tabela 23.

Tabela 23: Principais Características dos Casos.

Roteirização	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
Tipo	Estática	Estática	Estática	Estática
Principais Problemas	Falta de produtos nos pontos de entrega; Falta de controle sobre as variáveis do problema.	Limitação do tipo de transporte a utilizar; Falta de controle sobre as variáveis do problema.	Ociosidade da frota; Necessidade de cálculo diário das rotas.	Sequenciamento de rota não definido; Necessidade de cálculo diário das rotas.
Método para Solução	Clarke e Wright	Matricial de Economias	Heurística específica para o caso	Adaptação do método de Varredura
Principais Benefícios	Maior consistência nas Entregas; Diminuição dos Custos Operacionais.	Diminuição da frota disponível.	Redução de 30% da frota disponível; Tempo computacional viável.	Redução de 18% da distância total percorrida; Tempo computacional viável.

Fonte: Autoria própria.

3 ESTUDO DE CASO

Nessa sessão será apresentado o estudo de caso realizado com a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT ou simplesmente Correios), uma Empresa Pública Federal. O objetivo geral desse estudo de caso foi verificar como é feita a roteirização da empresa para entrega de encomendas na cidade de Fortaleza Ceará. Nesta parte do trabalho serão descritos o processo de roteirização e suas características mais importantes. Todas as informações contidas nessa sessão foram fundamentadas pelas seguintes fontes: o site da empresa, uma entrevista gravada com um dos gestores responsáveis pelo serviço de entrega de encomendas e o manual de operação do sistema pelo qual é feita a roteirização.

A visita ocorreu no centro de distribuição da Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos. Os dados colhidos na visita foram obtidos através de observação empírica do processo, da obtenção do manual de treinamento do sistema de roteirização da ECT e de uma entrevista gravada. A visita ocorreu no dia 25 de Abril de 2014 no Centro de Triagem de Cartas e Encomendas do Ceará (CTCE-CE). O entrevistado foi o senhor Pedro Alcântara Lima, Coordenador de Atividades Externas da Gerencia de Atividades Externas do Ceará (GERAE-CE). A entrevista teve duração de 32 minutos.

A entrevista foi aplicada com o auxílio de um questionário semi-estruturado com perguntas abertas. Após a aplicação da entrevista os dados contidos no áudio foram tabulados para facilitar sua análise e obtenção de informações relevantes para o trabalho. Os dados obtidos foram analisados e as informações neles contidas foram expostas no corpo do trabalho, na sessão dedicada ao estudo de caso.

3.1 Histórico da Empresa

O serviço postal surgiu no Brasil no período da colônia e foi realizado pelo correio da metrópole portuguesa. Em 1808, o príncipe D. João, regente do trono português, criou os Correios Interiores do Brasil. No período imperial, D. Pedro I reorganizou os Correios no país e criou a administração dos Correios das províncias. Em seguida D. Pedro realizou reformas postais, criando os primeiros selos postais, quadro de carteiros, caixas de coleta, a distribuição domiciliada de correspondências além aderir aos organismos internacionais de telecomunicações (CORREIOS, 2008b).

Após um período de desenvolvimento passado pelo país, especialmente do setor produtivo, o serviço postal brasileiro passou por nova reorganização. Então, no dia 20 de

março de 1969, através da lei Nº 509, foi criada a Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT), empresa pública vinculada ao Ministério das Comunicações (CORREIOS, 2008b).

Após sua fundação, a ECT passou por mudanças e avanços nos seus processos, produtos e serviços. Na década de 80 foram criadas novas modalidades de entrega como o Serviço de Encomenda Expressa Nacional (SEDEX) e os serviços Post-Grama, Carta Eletrônica e Aerograma, além do serviço de Correio Rural e da implantação do Franqueamento Autorizado (FAC). Nos seus processos, os Correios substituíram o transporte ferroviário pelo rodoviário e, posteriormente, implantaram o serviço de entrega aérea noturna, que melhorou a qualidade do serviço de entrega. Também Foram implantados centros de triagem mecanizados e introduzido o serviço de entrega internacional. Em 90 foi criada a Rede Postal Fluvial da Amazônia e implantado o Programa de Qualidade Total. Nos anos 2000 ocorreu o lançamento do Banco Postal, do serviço de encomenda não expressa (PAC), e da ampliação da linha SEDEX, com novas modalidades como: SEDEX-Hoje e Mundi (CORREIOS, 2008c).

Ao longo dos anos a ECT conquistou inúmeros marcas significativas. Foi eleita no ano de 1984 como a empresa de maior credibilidade do país. Em 2001 se tornou a empresa com maior cobertura de atendimento no país, com agências em todos os até então 5561 municípios do Brasil. Também ganhou o prêmio de primeiro lugar em produtividade pela revista Exame, em 1987. Em 1992 atingiu 90% de aprovação conforme pesquisa do IBOPE. E chegou a ganhar o prêmio de Melhor Empresa de Serviços Públicos (CORREIOS, 2008c).

A ECT é uma empresa pública de grande porte que abrange todo o território nacional. Atua na área de serviço postal (onde detém exclusividade conferida pela lei 6538/78) e de encomenda simples e expressa. Tem como principais serviços: a entrega de correspondências (carta, telegrama e correspondência agrupada), que representa 54% do seu faturamento; de encomendas, que é realizada através na linha SEDEX (E-SEDEX, SEDEX-10, SEDEX-12, SEDEX-Hoje e SEDEX-Mundi) e do Pacote Econômico (PAC); e o Banco Postal (BP) (CORREIOS, 2008c).

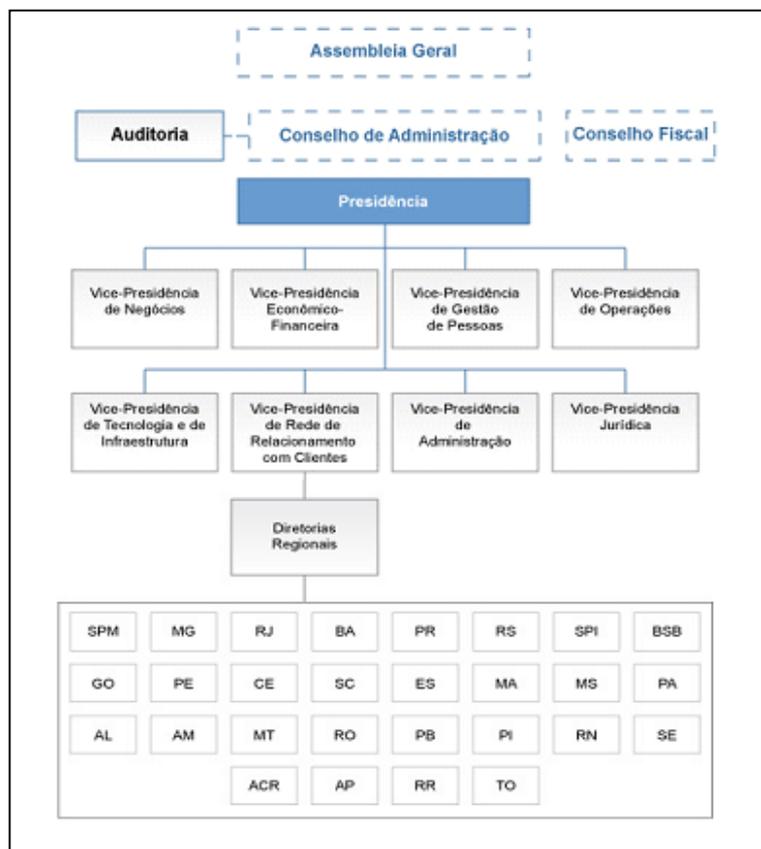
Como toda empresa de grande porte, a ECT tem missão, visão e valores bem definidos:

- Missão: Fornecer soluções acessíveis e confiáveis para conectar pessoas, instituições e negócios, no Brasil e no mundo;
- Visão: Ser uma empresa de classe mundial.
- Valores: ética, meritocracia, respeito às pessoas, compromisso com o cliente e sustentabilidade (CORREIOS, 2008d);

A ECT tem sua estrutura bem definida, com a distribuição das áreas e funções dentro de seu organograma (Figura 10). As decisões administrativas dos Correios são centralizadas na Administração Central, composta por vários órgãos: a Presidência, o Conselho Fiscal, o de Administração, a Diretoria Executiva, o Comitê Executivo, os Departamentos e órgãos de mesmo nível, Centros de Serviços e a Administração Regional. Além desses, também fazem parte da Administração Central a Assembleia Geral e um órgão de Auditoria (CORREIOS, 2008a).

Dos órgãos citados no parágrafo anterior, dois são subdivididos: a Diretoria Executiva e a Administração Regional. A Diretoria Executiva é composta por sua presidência e por oito Vice-Presidências, quais sejam: Vice-Presidência de Negócios, Vice-Presidência Econômico-Financeira, Vice-Presidência de Gestão de Pessoas, Vice-Presidência de Operações, Vice-Presidência de Administração, Vice-Presidências de Tecnologia e Infraestrutura, Vice-Presidências de Rede e Relacionamento com os Clientes e Vice-Presidência Jurídica. Já Administração Regional compreende 28 Diretorias Regionais (CORREIOS, 2008a).

Figura 10 - Organograma dos Correios



Fonte: Correios (2008a).

3.2 Exposição dos Dados

A atividade de roteirização da ECT é feita através de um *software* corporativo, o Sistema de Distritamento de Encomendas e Malotes (SDE). Esse sistema foi desenvolvido pela própria empresa através de seus colaboradores. Ele é resultado de um trabalho de aprimoramento de um antigo sistema criado em 2006. A atual versão do SDE, conhecida como SDE web, passou a operar em todas as unidades de distribuição de encomendas dos correios a partir de 2012. O sistema é de uso interno via intranet e só os gestores têm acesso a ele via senha pessoal.

3.2.1 Distritamento

A roteirização na ECT é conhecida como distritamento, que é a atividade de criar distritos. Conforme o manual de operação do SDE “distrito é um conjunto de trechos de logradouros, com delimitações definidas, que demonstra a área de distribuição e/ou coleta de um carteiro”. Os distritos são regiões no mapa da cidade formadas por agrupamentos de logradouros (ruas, vilas, avenidas, travessas, etc) que visam permitir uma eficiente alocação de recursos humanos e materiais nas atividades de entrega e coleta da empresa. Através do SDE esses distritos são criados. Eles permitem dimensionar as demandas de trabalho e recursos necessários para atendê-las.

A atividade de distritamento segue os seguintes passos:

1. Preparação;
2. Mapeamento de dados;
3. Alimentação do sistema;
4. Determinação dos efetivos necessários à demanda.
5. Distritamento.

A atividade de preparação é uma função de planejamento. Nela são definidos os detalhes do processo. As principais atividades são a definição de um cronograma, treinamento da equipe, organização de documentos, mensuração dos recursos necessários às etapas seguintes e levantamento do nível operacional existente (efetivo disponível, capacidade produtiva, etc.).

Antes da criação dos distritos é necessário fazer um levantamento minucioso das variáveis que influenciam a atividade. Essas variáveis são localizadas na fase de mapeamento e estão listadas a seguir:

- a) Demanda de entregas: contagem total de objetos entregues durante 15 dias úteis seguidos, excluindo-se os dias seguintes aos feriados e os meses de janeiro e dezembro (exceções);
- b) Características dos logradouros: tamanho em metros, tempo para efetuar entregas, demanda média e condições de tráfego;
- c) Dados internos e externos: carga horária de trabalho, horário de chegada e saída;
- d) Parâmetros de tempos: tempo de expedição, tempo para carregar o veículo, tempos improdutivos, tempo para entregar, tempo para prestar contas, tempo ocasionado por erros, tempo para corrigir erros, tempo de entrega, tempo de tráfego interno e externo.

Em relação aos tempos. O tempo de entrega difere de acordo com o tipo de local de entrega (entrega em apartamento, casa, condomínio, etc.), também difere de acordo com o tipo de encomenda a ser entregue (envelope, pacote, etc.) A expedição engloba as atividades de localização e separação das encomendas e documentos dentro do Centro de Distribuição (CD). O tempo improdutivo é o tempo de percurso entre o CD e o primeiro ponto de entrega adicionado ao tempo inverso, do último ponto de entrega ao CD.

Os parâmetros são coeficientes que multiplicados pelo número de encomendas de cada tipo e destino retornam o tempo padrão para execução das entregas. Eles são definidos por uma equipe de técnicos da sede dos Correios em Brasília através da medição dos tempos médios necessários à execução de cada atividade. Tiram-se parâmetros do menor para o maior e formam-se médias. Há parâmetros de tempo para todas as atividades executadas pelo carteiro.

Concluídas as fases de preparação e mapeamento dos dados é feito o cadastramento das informações no sistema. Então o sistema calcula o efetivo necessário às atividades de distribuição: a quantidade de funcionários necessária para atender a demanda, a capacidade operacional necessária à unidade e o número de veículos para transporte. Esse cálculo deve respeitar a carga horária de trabalho dos carteiros.

A parte final do processo de distritamento é a criação dos distritos. Eles são criados em função da demanda de entregas e do número de funcionários da distribuição (carteiros) previamente obtidos. O cálculo e dimensionamento dos distritos são feitos de forma que a

carga horária de trabalho (480 minutos), a demanda de entregas e a quantidade de recursos necessários (pessoal, equipamentos, transportes, etc) entre todos os distritos seja equiparada, ou seja, cada distrito tenha aproximadamente a mesma demanda de trabalho e recursos e suas rotas possam ser percorridas no mesmo tempo total.

Os distritos são formados pela junção de logradouros, preferencialmente próximos, de acordo com seus níveis de demanda e tempo necessário para efetuar as entregas de forma que a quantidade de trabalho possa ser executada dentro da carga horária do carteiro. Devido a possíveis oscilações na demanda há uma folga de 10% para mais e para menos no tempo máximo dos distritos.

Os distritos devem respeitar as restrições de tempo e demanda. Se o distrito não é viável, não atende às restrições, ele deve ser adaptado. Quando há áreas muito grandes e com pouca demanda de encomendas, adapta-se o distrito anexando-lhe outros logradouros mais distantes e com demanda maior de forma a adequar a carga horária de trabalho à demanda. Pode ocorrer que alguns logradouros não se encaixem em nenhum distrito, o que é conhecido como trecho órfão, sem distrito. Nesse caso eles serão incorporados a outros distritos no momento das entregas. Os logradouros adicionados aos distritos devem respeitar as restrições do distritamento. Os logradouros são incluídos e retirados dos distritos até se chegar a distritos eficientes, que cumpram a carga horária média de 480 minutos por dia com a folga de 10%.

3.2.2 Principais Características e Restrições do Caso

As rotas diárias de entrega dentro de cada distrito são fixas e definidas em cada unidade de entrega de encomendas por um determinado período de tempo (tempo igual a execução de um novo processo de distritamento). Essa definição é feita pelos gerentes das unidades com o auxílio do carteiro responsável pelo distrito. Os gerentes montam as rotas e chamam os carteiros para aprovar o percurso diário. As rotas são montadas no sistema, distrito por distrito e devem atender as restrições de tempo dos distritos. O sistema tem limites mínimos e máximos e só aceita as rotas se estiverem dentro dessa faixa. As rotas também consideram folga de aproximadamente 6% do tempo total.

Cada distrito é atendido por um carteiro que utiliza um veículo e pode dispor de um ajudante. O carteiro tem um ajudante disponível quando seu distrito contempla uma região onde há dificuldade para estacionar e tráfego intenso.

O tempo de ocupação do carteiro é de 8 horas diárias (480 minutos) divididas entre as atividades internas (expedição e prestação de contas) e externas (entregas). Os carteiros entram às 08 horas e aproximadamente às 10 horas saem para efetuar as entregas. Eles têm 480 minutos para fazer as entregas diárias do distrito, com uma folga de 30 minutos para mais ou para menos no tempo total do dia dentro de cada distrito. Caso haja tempo ocioso do carteiro ele pode ser incorporado a outro distrito onde o tempo foi ultrapassado. Os distritos são construídos para não haver ociosidade. O tempo total de trabalho do carteiro deve ser totalmente preenchido, porém, na prática isso dificilmente ocorre, na maioria dos dias a demanda é inferior ou superior à carga horária de 480 minutos. Pode haver distritos especiais, que não se enquadram no padrão dos demais e das restrições, esses distritos receberão formas de entrega diferenciadas.

O início da jornada de trabalho do carteiro é destinado à expedição. Nessa etapa é feita a separação das encomendas por distrito e ordenada a sequência de entregas. Gastam-se em média entre 2 e 3 horas para fazer a expedição e para a carga estar pronta para as entregas. Quando grande quantidade de encomendas destina-se ao mesmo local não há necessidade de sua separação.

As encomendas a serem entregues são classificadas por grades, que vão de G1 a G5. As grades são módulos que priorizam as encomendas. Cada grade tem um tipo específicos de entrega (SEDEX, PAC, etc.), que têm sua ordem de prioridade. Uma mesma grade contém várias modalidades de entrega diferentes, agrupadas pelo seu tempo de entrega. As grades podem ser combinadas para melhorar a eficiência da atividade caso haja ociosidade. As grades também servem para determinar o tipo de percurso: apenas entrega, apenas coleta, coleta e entrega. As encomendas do tipo Sedex 10 e 12 (devem ser entregues até as 10 e 12 horas respectivamente) têm modalidades de entrega diferenciadas do padrão dos distritos.

As encomendas só são entregues se os locais de destino estiverem de acordo com a Portaria 567/2011 do Ministério das Comunicações. Essa Portaria dispõe sobre as condições de entrega em domicílio de serviços postais sob responsabilidade da ECT (MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES, 2011).

Todos os logradouros passíveis de receber entregas são mapeados em seus mínimos detalhes. Cada logradouro é identificado por uma faixa de numeração, seu tamanho em metros, o tempo necessário para as entregas, as condições de tráfego (intenso, médio e fácil) e seu Código de Endereçamento Postal (CEP).

A frota de entrega utilizada é mista, composta de aproximadamente 50% de veículos próprios e 50% terceirizados. A frota é heterogênea, composta por motos, caminhões de

grande, médio e pequeno. Os veículos têm capacidades (em Kg) de 400, 600, 1000, 1500, 3000, e acima de 3000. A maior parte dos veículos tem capacidade de 1,5 toneladas. A frota é distribuída de acordo com o volume da demanda e as condições de tráfego. Os veículos com menor capacidade são usados em locais com baixa demanda e condições de tráfego ruim. Veículos com grande capacidade são utilizados onde há a combinação de bom tráfego e alta demanda.

A frota é adquirida ou alugada através de licitação. No caso dos veículos próprios é feita licitação para troca a cada três anos. Os veículos terceirizados são renovados anualmente.

Os distritos atualmente são refeitos aproximadamente a cada dois anos. O último distritamento foi feito em 2011. Um novo distritamento está sendo feito para esse ano (2014). A partir do próximo ano essa atividade será anual, com possibilidade de ocorrer em menos tempo caso haja alguma excepcionalidade que a justifique. O número atual de distritos é 61, com o novo distritamento a ser implantado esse ano passará para 82.

O custo da atividade de distribuição da ECT em cada uma das unidades de distribuição é calculado pelo sistema SDE e considera a área e a quantidade de encomendas a serem entregues.

A forma de roteirização da ECT por distritamento existe há mais de 10 anos, porém não era sistematizada. Antes da implantação do SDE a roteirização era artesanal. Era feita passo a passo através do acompanhamento e mapeamento das atividades pelos técnicos responsáveis em cada unidade de distribuição e os cálculos eram manuais.

O setor responsável pela atividade de roteirização da ECT na cidade de Fortaleza e em todo o estado do Ceará é a Gerência de Distribuição do Centro de Triagem de Cartas e Encomendas. O setor é composto por 10 funcionários responsáveis pelo planejamento e coordenação da atividade de distribuição no estado do Ceará.

3.3 Verificação de Pressupostos

O pressuposto a ser verificado foi: A ECT utiliza algum método científico na roteirização de entregas na cidade de Fortaleza?

A conclusão foi negativa.

3.4 Conclusões sobre o Caso

A empresa usa um método de roteirização que visa adequar os efetivos de trabalho à demanda de entregas existente. É um método que busca eficiência operacional na determinação do efetivo necessário às entregas, porém não busca a eficiência das rotas no sentido de alcançar o percurso mais eficiente possível em termos de distância percorrida, que é o que buscam os métodos científicos de roteirização. O roteamento da ECT não busca determinar as rotas mais eficientes, busca criar rotas que se equiparem em termos de demanda de trabalho.

As rotas traçadas pelos distritos têm algumas ineficiências que são consideradas na literatura. Primeiro, como os distritos não são sempre determinados por conglomerados de logradouros adjacentes e as encomendas são entregues por ordem de prioridade, mas um mesmo carteiro as levam, pode ocorrer que as rotas se sobreponham ou passem duas vezes no mesmo lugar. Segundo, a determinação dos distritos não busca construí-los de forma a facilitar a entrega. Os distritos são criados para terem demandas equivalentes. Além disso, o problema de roteirização dos Correios necessita da construção de rotas diárias, visto que nem todos os pontos de entrega de encomendas são fixos.

Outro ponto negativo da roteirização feita pelos Correios é em relação à criação dos distritos. Essa atividade tem o objetivo de fazer com que a demanda de trabalho diária de cada distrito seja de 480 minutos, porém isso não ocorre na maioria dos dias, visto até existir uma folga considerável no tempo (aproximadamente uma hora). Segundo informações obtidas com um gestor da área é comum o carteiro trabalhar uma hora a menos do que o previsto.

Apesar de não buscar a eficiência das rotas o sistema usado pelos Correios é bem abrangente. Nele é feito o mapeamento de todas as variáveis envolvidas no processo e sua aplicação é capaz de mensurar a mão-de-obra necessária e o nível da estrutura para a execução da atividade. Como visto também, o sistema vem evoluindo ao longo do tempo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo principal deste trabalho foi ressaltar a importância do uso de métodos científicos de roteirização para melhorar a produtividade da atividade de transporte logístico. Isso foi possível devido à falta de uso desses métodos por muitas empresas, principalmente de pequeno e médio porte, e a constatada ineficiência operacional na área de transporte logístico vista na introdução. Esse problema foi amplamente visto nos casos exibidos no desenvolvimento, onde empresas de pequeno e médio porte, muitas vezes tendo a distribuição de produtos como uma de suas atividades principais, não utilizavam métodos de comprovada eficiência para roteirização e, em alguns casos, não dispunham nem mesmo de *softwares* para facilitar a execução da atividade. A roteirização nessas empresas era feita por métodos empíricos baseados na experiência dos responsáveis pela atividade.

Os casos vistos no desenvolvimento mostraram que as rotas utilizadas pela empresas neles analisadas eram ineficientes. Foram aplicados algoritmos matemáticos e heurísticos que mostraram melhoria nas rotas, o que ocasionaria significativa melhoria da produtividade e diminuição dos custos da atividade de transporte. Também se pôde ver em um caso específico que a melhoria das rotas recalculadas resultaria, além da diminuição da distância percorrida, em diminuição da frota necessária.

Os estudos apresentados no desenvolvimento também serviram para mostrar a aplicação de métodos científicos de roteirização em casos práticos do mundo empresarial e para demonstrar sua eficácia na determinação de rotas de distribuição. Portanto, seu uso pode ajudar as empresas a melhorar sua eficiência operacional, o que reflete diretamente no nível de serviço prestado, além de diminuir sua estrutura de custos.

Como pôde ser visto no desenvolvimento do trabalho, há empresas que ainda não utilizam métodos consistentes com base em conhecimentos científicos para roteirizar suas entregas, inclusive não apenas pequenas empresas. Porém, não se sabe a dimensão do uso ou não desses métodos pelas empresas, visto ainda não existir um trabalho que aborde essa temática.

O uso de métodos científicos de roteirização pelas empresas, principalmente as pequenas e médias, pode representar um diferencial competitivo através da melhoria do nível de serviço e da diminuição dos custos. Como visto ao longo do trabalho, há empresas de pequeno e médio porte que não utilizam esses métodos.

O estudo de caso sobre os Correios evidenciou que a empresa usa um método sistematizado para definição das rotas de entregas. Através da divisão da região de entrega em

pequenas áreas chamadas de distritos a ECT faz a separação e distribuição de suas entregas. Porém, apesar do uso de um *software* para roteirização, os Correios usam uma metodologia que busca equiparar a carga horária de trabalho dos responsáveis pelas entregas e não a eficiência máxima das rotas de entrega. O sistema utilizado pelos Correios para roteirização é bastante abrangente, considera várias restrições e variáveis, mas não busca a otimização do percurso a ser percorrido diariamente.

O trabalho de distritamento dos Correios faz o mapeamento completo de todas as variáveis existentes no problema. Nele são dimensionados todos os custos, tempos e características da atividade. Isso demonstra que aplicação de um método científico poderia ser menos complexa, visto que a empresa já dispõe de grande quantidade de informações específicas sobre a área.

O estudo de caso sobre os Correios serviu para mostrar na prática um processo de roteirização. Ele foi importante para esse trabalho porque permitiu presenciar como é feita a preparação e a criação de rotas, através da consideração de variáveis e restrições específicas do problema e da descrição dos passos do processo. Além disso, também pode ser visto que uma grande empresa como os Correios não utiliza um método científico de roteirização, visto que não busca a maximizar a eficiência de suas rotas de entrega.

Para posteriores estudos seria relevante fazer um levantamento da difusão do uso dos métodos científicos de roteamento no contexto organizacional e um estudo para acompanhamento dos resultados da aplicação desses métodos em organizações que substituíram métodos empíricos existentes. Também seria de grande importância um estudo sobre *softwares* de roteirização, suas principais características e viabilidade e um estudo sobre a viabilidade da implantação de métodos científicos de roteirização na atividade de transporte logístico no contexto das pequenas e médias empresas.

Esse trabalho se mostra relevante porque aborda um tema importante no contexto empresarial, que é o uso de métodos científicos de roteirização para o aumento da produtividade operacional e consequente diminuição de custos. Conforme visto no referencial teórico, esses métodos vêm se desenvolvendo ao longo do tempo e seu uso pode ser um diferencial competitivo para as organizações.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Guilherme Bastos. **Um Algoritmo Híbrido para o Problema de Roteamento de Veículos Estático e Dinâmico com Janela de Tempo**. Tese (Pós-Graduação em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2005. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/RVMR-6EAKH8>>. Acesso em: abr. 2014.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 1993.

BAPTISTA, Makilim Nunes; CAMPOS, Dinael Corrêa. **Metodologias de Pesquisa em Ciências: Análises Quantitativa e Qualitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2009.

BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro: e Legislação Complementar em Vigor**. Departamento Nacional de Transito, 2008. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/ctb_e_legislacao_complementar.pdf>. Acesso em: Abril de 2014.

CHAVES, Antônio Augusto. **Modelagens Exata e Heurística para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios**. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2003. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Orientacoes/PCVCP-Exato-VNS.pdf>>. Acesso em: abr. 2014.

CORREIOS. **Estrutura Organizacional**. Correios: Brasília, 2008a. Disponível em: <<http://www.correios.com.br/sobreCorreios/empresa/quemSomos/estruturaOrganizacional.cfm>>. Acesso em: Abr. 2014.

CORREIOS. Gerência de Distribuição. **Apostila do Treinando**. Brasília: Correios, 2013.

CORREIOS. **História Postal**. Correios: Brasília, 2008b. Disponível em: <<http://www.correios.com.br/sobreCorreios/empresa/historia/default.cfm>>. Acesso em: Abr. 2014.

CORREIOS. **Identidade Corporativa**. Correios: Brasília, 2008c. Disponível em: <<http://www.correios.com.br/sobreCorreios/empresa/quemSomos/identidadeCorporativa.cfm>>. Acesso em: Abr. 2014.

CORREIOS. **Quem Somos**. Correios: Brasília, 2008d. Disponível em: <<http://www.correios.com.br/sobreCorreios/empresa/quemSomos/default.cfm>>. Acesso em: Abr. 2014.

COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS. **Supply Chain Management**. Disponível em: <<http://cscmp.org/about-us/supply-chain-management-definitions>>. Acesso em: Março de 2014.

CUNHA, Cláudio Barbieri da. **Aspectos Práticos da Aplicação de Modelos de Roteirização de Veículos a Problemas Reais**. TRANSPORTES, Rio de Janeiro, RJ, v. 8, n. 2, p. 51-74, Nov. 2000. Disponível em: <<http://www.revistatransportes.org.br/anpet/issue/view/20>>. Acesso em: Abr. 2014.

CUNHA, Cláudio B. da; BONASSER, Ulisses de O.; ABRAHÃO, Fernando T. M. **Experimentos Computacionais com Heurísticas de Melhorias para O Problema do Caixeiro Viajante**. In: Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 16., 2002, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2002. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/ptr/ptr/docentes/cbcunha/files/2-opt_TSP_Anpet_2002_CBC.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

CHAVES, Antônio Augusto; BIAJOLI, Fabrício Lacerda; MINE, Otávio Massashi; SOUZA, Marcone J. Freitas. **Modelagens Exata e Heurística para Resolução de uma Generalização do Problema do Caixeiro Viajante**. In: Seminário Brasileiro de Pesquisa Operacional: O Impacto da Pesquisa Operacional nas Novas Tendências Multidisciplinares, 36., 2004, São João Del Rei. **Anais...** São João Del Rei: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2004. Disponível em: <<http://www.decom.ufop.br/prof/marcone/Publicacoes/SBPO-2004-PCVCP-TC0139.pdf>>. Acesso em: abr. 2014.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Frota de Veículos**. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/frota2013.htm>>. Acesso em: Abril de 2014.

DUTRA, Nadja Glheuca da Silva. **O Enfoque de “City Logistics” na Distribuição Urbana de Encomendas**. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/87149/206932.pdf?sequ>>. Acesso em: mar. 2014.

FIGUEIREDO, Kleber Fossatti; FLEURY, Paulo Fernando; WANKE, Peter. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento do Fluxo de Produtos e dos Processos**. São Paulo: Atlas, 2003.

GENDREAU, M.; HERTZ, A.; LAPORTE, G. **New Insertion and Postoptimization Procedures for the Traveling Salesman Problem**. Institute for Operations Research and the Management Sciences. Linthicum, v. 40, p. 1086-1094, nov./dez. 1992. Disponível em: <http://www-2.dc.uba.ar/materias/metah/GENI_TSP.pdf>. Acesso em: mar. 2014.

GÓES, Anderson R. Teixeira. **Otimização na Distribuição da Carga Horária de Professores: Método Exato, Método Heurístico, Método Misto e Interface**. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. Disponível em: <<http://www.ppgmne.ufpr.br/arquivos/diss/117.pdf>>. Acesso em: Abril de 2014.

GRIBKOVSKAIA, Irina; LAPORTE, Gilbert. **One-to-Many-to-One Single Vehicle Pickup and Delivery Problems**. Operations Research/Computer Science Interfaces, New York, v. 43, p. 359-377, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: Abril de 2014.

INSTITUTO DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA. **Melhorias da Produtividade em Suprimentos como Forma de Aumento da Competitividade das Empresas**. Disponível em: <<http://www.ietec.com.br/imprensa/melhorias-da-produtividade-em-suprimentos-como-forma-de-aumento-da-competitividade-das-empresas/>>. Acesso em: Março de 2014.

INSTITUTO DE LOGÍSTICA E SUPPLY CHAIN. **Custos Logísticos no Brasil**. Disponível em: <http://www.ilos.com.br/web/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=310&Itemid=&lang=br>. Acesso em: Março de 2014.

INTERNATIONAL MONETARY FUND. **World Economic Outlook Database**. Disponível em: <<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2013/01/weodata/index.aspx>>. Acesso em: mar. 2014.

KAIZEN INSTITUTE. **Logística Eficaz Aumenta Produtividade das Empresas e Melhora Margem de Lucratividade**. Disponível em: <<http://br.kaizen.com/imprensa/logistica-eficaz-aumenta-produtividade-das-empresas-e-melhora-margem-de-lucratividade.html>>. Acesso em: Março de 2014.

LEAL JUNIOR, Ilton Curty; PEIXOTO, Diego de Oliveira; BARBOSA, Matheus Guilherme; SILVA, Wellington Nascimento. **Estudo para Implementação de um Sistema de Roteirização e um Novo Centro de Distribuição para uma Empresa de Água Mineral do Sul de Minas Gerais**. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 9., 2012, Resende. **Anais...** Resende: Associação Educacional Dom Bosco, 2012. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/artigos12/35416327.pdf>>. Acesso em: Maio de 2014.

MELO, André C. da Silva; FILHO, Virgílio, J. M. Ferreira. **Sistemas de Roteirização e Programação de Veículos**. Pesquisa Operacional, Rio de Janeiro, v. 21 n. 2, p. 223-232, Jul./Dez. 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-74382001000200007>>. Acesso em: Maio de 2014.

MESQUITA, Antônio C. Pereira. **A Meta-Heurística Busca Dispersa em Problemas de Roteirização de Veículos com Coleta e Entrega Simultâneas: Aplicação na Força Aérea Brasileira**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3148/tde-17082010-105538/pt-br.php>>. Acesso em: Abril de 2014.

MINISTÉRIO DAS COMUNICAÇÕES. **Portaria Nº 567, de 29 de Dezembro de 2011**. Disponível em: <<http://www.mc.gov.br/portarias/24710-portaria-n-567-de-29-dezembro-de-2011>>. Acesso em: Mai. 2014.

MUKAI, Hitomi; DIAS, Solange I. S; FEIBER, Fluvio Natércio; RODRIGUEZ, Carlos M. T. **Logística Urbana**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2007. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR570428_8881.pdf>. Acesso em: mar. 2014.

NOVAES, Antônio Galvão. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição: Estratégia, Operação e Avaliação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

OPERATIONS RESEARCH/COMPUTER SCIENCE INTERFACES. **The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges**, New York, v. 43, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e os Assentamentos Humanos**. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-os-assentamentos-humanos/>>. Acesso em: Abril de 2014.

SILVA, Ermes M. da; GONÇALVES, Valter; MUROLO, Afrânio C.; SILVA, Elio M. da. **Pesquisa Operacional: Programação Linear, Simulação**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1998.

SOUZA NETO, Pio Marinheiro de. **Roteirização de Veículos como Estratégia de Melhoria do Nível de Serviço Logístico Aplicado na Pequena Empresa**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 30., 2010, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Associação Brasileira de Engenharia de Produção, 2010. Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_TN_STO_113_741_15512.pdf>. Acesso em: Maio de 2014.

TSUDA, Diogo Seijiy. **Modelo de Roteirização de Veículos em uma Empresa Importadora de Produtos Japoneses**. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://pro.poli.usp.br/wp-content/uploads/2012/pubs/modelo-de-roterizacao-de-veiculos-em-uma-empresa-importadora-de-produtos-japoneses.pdf>>. Acesso em: Maio de 2014.

VILLELA, Thaís M. de Andrade; TEDESCO, Giovanna M. Ishida. **Sistema de Transporte Rodoviário de Cargas: Uma Proposta para sua Estrutura e Elementos**. TRANSPORTES, Rio de Janeiro, RJ, v. 19, n. 2, p. 57-65, Nov. 2011. ISSN 2237-1346. Disponível em: <<http://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/507>>. Acesso em: Mai. 2014.

WU, Luciele. **O Problema de Roteirização Periódica de Veículos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-01082007-175300/en.php>>. Acesso em: abr. 2014.

ZNAMENSKY A.; CUNHA, C. B. **Um Modelo para o Problema de Roteirização e Programação do Transporte de Deficientes**. In: Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 13., 1998, São Carlos. **Anais...** São Carlos: ANPET, 1999. Disponível em: <http://sites.poli.usp.br/ptr/ptr/Site-ant/docentes/cbcunha/files/roteir_defic_Anpet00_CBC.Pd>. Acesso em: Maio de 2014.