

1

Introdução

1.1

Motivação

Ferramentas de otimização vêm se mostrando cada vez mais úteis e, em muitos casos, necessárias em uma realidade onde decisões cada vez mais complexas devem proporcionar o atendimento de demandas utilizando recursos limitados. Apesar disso, a implantação de sistemas de otimização para a resolução de problemas reais ainda mostra-se pouco freqüente, principalmente quando nos referimos ao mercado brasileiro. Na maior parte dos casos, problemas são resolvidos manualmente, ou no máximo com o auxílio de heurísticas bem simples.

Atualmente o mercado brasileiro de transporte rodoviário de encomendas encontra-se bastante concorrido. Segundo dados da Associação Nacional de Empresas de Transportes de Cargas (NTC), o setor de transporte rodoviário de cargas brasileiro conta com cerca de 12 mil empresas prestadoras de serviços, respondendo por 63% de toda a movimentação de cargas no mercado interno (contra, por exemplo, 20% no setor ferroviário e 13% no setor aquaviário) e 3,4% do Produto Interno Bruto (PIB).

Como consequência da forte concorrência no setor, preços antes cobrados pelo serviço hoje encontram-se bastante reduzidos. Além disso, a situação atual de empresas do ramo caracteriza-se por fortes pressões sobre os custos por conta dos aumentos do diesel, pedágios, seguros e tributos.

Portanto, devido a pouca margem para a redução de custos no negócio, a eficiência na utilização dos recursos disponíveis assume grande importância para a lucratividade e é considerada grande fator de sucesso neste mercado.

Decidir quando, onde e quais recursos usar de forma a maximizar a utilização dos mesmos torna-se uma tarefa bastante complexa e muito difícil de ser realizada de forma eficaz e eficiente sem o auxílio de computadores e ferramentas de apoio à decisão.

Empresas brasileiras no ramo não costumam realizar qualquer estudo, baseado em técnicas de otimização, em busca de soluções mais lucrativas

para a utilização dos recursos da empresa. Decisões têm como base a intuição e a experiência do funcionário responsável pela operação da movimentação dos veículos de cada centro de distribuição (CD) da empresa. Além disso, o que ocorre na prática, são planejamentos locais realizados manualmente que consideram os recursos de tais centros de forma separada.

Nesse sentido, a idéia é estudar e desenvolver uma ferramenta de otimização capaz de realizar planejamentos de forma a maximizar a utilização dos recursos da empresa como um todo e assim aumentar a margem de lucro do negócio.

Essa dissertação tem como objetivo apresentar algoritmos e modelos matemáticos utilizados para resolver um problema nesta área.

1.2

Contexto

Atualmente, empresas transportadoras de carga costumam possuir uma frota, composta por pequenos veículos, destinada à distribuição e à coleta de mercadorias em curtas distâncias (transporte entre municípios); e tendem a “contratar” carretas para a realização do transporte rodoviário para médias e longas distâncias (transporte entre estados).

Portanto, cargas são coletas em localidades próximas a CD's da empresa, e transportadas através de carretas para outros centros de distribuição, de onde são distribuídas até chegar em sua localidade de destino final.

Cada localidade deve ser atendida por apenas um CD da empresa transportadora. Portanto, a partir do momento que uma demanda se encontra disponível para transporte, já se sabe para qual centro de distribuição a carga correspondente deve ser transportada.

A figura 1.1 ilustra um conjunto de centros de distribuição associados e localidades de atendimento correspondentes.

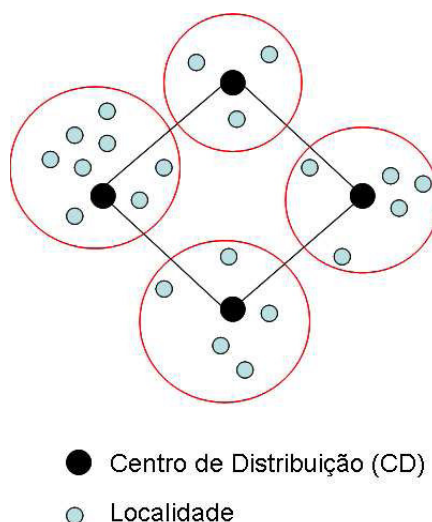


Figura 1.1: Cada localidade é atendida por apenas um centro de distribuição.

Alguns fatores são considerados importantes para o estudo por um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis para o transporte de mercadorias:

- Dificuldade de visualização das possibilidades de ganho provenientes da operação conjunta dos CD's da empresa;
- Falta de previsões de demandas por transporte de cargas;
- Dificuldade de comunicação e acordo entre os CD's.

Soma-se a estas dificuldades, a enorme complexidade intrínseca ao processo em virtude das inúmeras possibilidades existentes e das variadas restrições impostas por regras de gerenciamento de risco.

Neste contexto, a análise de situações e alternativas, de um ponto de vista macro, torna-se bastante difícil. Assim sendo, decisões geralmente são tomadas tendo em vista as necessidades locais, podendo não estar de acordo com a estratégia da empresa como um todo.

A dificuldade de visualização das necessidades de outros centros de distribuição pode provocar desperdícios como o deslocamento desnecessário de veículos ou a perda de oportunidades de contratação mais baratas.

Tais problemas acabam por ter reflexo na eventual ociosidade e/ou escassez de veículos nos centros de distribuição existentes. O que ocorre na prática é que somente após problemas de excesso ou escassez de veículos ocorrerem que a área comercial da empresa é alertada para que busque por determinados tipos de demanda no mercado. Com isso, uma quantidade significativa de veículos acaba desperdiçando tempo parado, podendo inclusive gerar a necessidade da contratação de mais veículos em outros CD's da empresa.

1.3

Objetivos

O problema estudado visa planejar a rede de transferência de cargas completa de uma grande empresa transportadora de encomendas para um horizonte de tempo pré-determinado.

No contexto de interesse, o objetivo é realizar o planejamento da movimentação de carretas entre os diversos centros de distribuição da empresa transportadora espalhados pelo Brasil, de forma a atender as demandas existentes e obter o melhor aproveitamento da frota (maximizando atendimentos e minimizando custos), respeitando as condições contratuais e operacionais existentes.

Desta forma, o planejamento deverá minimizar a contratação de veículos extras em mercado - necessidade muito comum em épocas de alta demanda, por exemplo em épocas de fim de ano - para auxiliar no atendimento de demandas.

O objetivo do trabalho é estudar, implementar e testar abordagens para solucionar um problema combinatório bastante complexo e extremamente útil como forma de auxiliar tomadas de decisão em empresas de transporte de carga por encomenda.

O módulo de otimização proposto, deve:

- auxiliar o planejamento tático dentro de um horizonte de aproximadamente quatro semanas; e
- permitir a avaliação de decisões estratégicas, através da otimização de diferentes cenários.

O planejamento tático se resume à análise da movimentação de veículos e cargas ao longo de um período de quatro semanas. Este planejamento deve procurar otimizar o resultado esperado em termos financeiros. Portanto, o planejamento deverá minimizar a contratação de recursos extras, maximizando a utilização dos recursos existentes.

A construção de diferentes cenários permitirá a simulação de diferentes configurações da rede rodoviária de modo a auxiliar na avaliação de decisões estratégicas. O impacto de eventuais projetos de ampliação/redução de capacidade de frota, abertura/fechamento de CD's, criação de novas linhas ou implantação de regras de operação da frota poderão ser avaliados a partir da otimização de cenários considerando tais alterações.

1.4

Trabalhos Relacionados

O VRP (Vehicle Routing Problem) trata do roteamento de uma frota de veículos para o atendimento de um conjunto de clientes.

Neste problema, clientes possuem demandas conhecidas e devem ser visitados uma única vez por um único veículo. Veículos normalmente possuem capacidades associadas (Capacitated Vehicle Routing Problem - CVRP) e devem realizar rotas com início e fim no único depósito existente. O roteamento normalmente é realizado de forma a minimizar a distância total a ser percorrida. Trata-se de um problema NP-Difícil, com inúmeras aplicações práticas, o que serve de motivação para pesquisas e investimentos. Bodin, Golden, Assad e Ball (BGA83) apresentam trabalhos relacionados ao VRP.

O TSP (Travelling Salesman Problem) pode ser visto como um caso particular do VRP. O TSP contempla apenas um depósito e trata do roteamento de apenas um veículo sem restrições de capacidade. Este problema tem como objetivo determinar uma rota de custo mínimo para atender cada um dos clientes existentes.

Uma variação para o TSP é o m-TSP que busca um conjunto de m rotas com origem e destino no único depósito existente, visitando cada cliente apenas uma vez.

Variações para o m-TSP considerando restrições de janela de tempo para o atendimento de demandas são consideradas no m-TSPTW (Multiple Travelling Salesman Problem with Time Windows).

Wang e Regan (WR02) descrevem um método de solução para o m-TSPTW. O método proposto foi desenvolvido para solucionar problemas de transporte rodoviário de encomendas. Neste trabalho, é descrito um modelo e uma técnica iterativa em que restrições explícitas de tempo são substituídas por variáveis binárias de fluxo.

Variações para o VRP normalmente impõem restrições de janelas de tempo para o atendimento de clientes ou a adição de múltiplos depósitos.

Problemas de Roteamento de Veículos com Múltiplos Depósitos, ou MDVRP, generalizam o VRP permitindo que veículos realizem transportes considerando a existência de mais de um depósito. O objetivo do problema é atribuir um conjunto de rotas utilizando os veículos de cada depósito de forma que os clientes sejam visitados exatamente uma vez, minimizando gastos com transporte. Veículos devem iniciar e terminar rota em um mesmo depósito e normalmente possuem restrições de capacidade.

Uma extensão para o VRP que também considera restrições de janela de tempo é o VRPTW (Vehicle Routing Problem with Time Windows). Da

mesma forma que no m-TSPTW, este problema considera que clientes só podem ser atendidos em intervalos de tempo pré-determinados. O VRPTW se tornou um problema bastante estudado visto que restrições de janela de tempo existem naturalmente em problemas reais de roteamento. Kolen, Kan e Trienekens (KKT87) e Desrochers, Desrosiers e Solomon (DDS97) propõem algoritmos exatos para o VRPTW.

Trabalhos relacionados são apresentados por Bent e Hentenryck (BH06) e por Flisberg, Lidén e Rönnqvist (FLR08), onde abordagens híbridas de duas fases são propostas para resolução de problemas de transporte rodoviário de encomendas.

O primeiro trabalho propõe uma abordagem híbrida de dois estágios para o PDPTW (Pickup and Delivery Problem with Time Windows). O primeiro estágio utiliza um algoritmo simples de simulated annealing para diminuir o número de rotas, enquanto o segundo estágio usa LNS (Large Neighborhood search) para diminuir o custo total com viagens.

O segundo trabalho considera um problema de roteamento operacional para decidir rotas diárias para caminhões. É descrita uma estratégia de solução que transforma o problema em um VRPTW. A abordagem sugerida resolve um problema de programação linear seguido pela implementação de uma busca tabu.

Rich (Rich99) realiza um trabalho de pesquisa onde três aplicações de roteamento específicas são estudadas. Dentre elas, uma aplicação para o VRPTW e outra para um problema de carregamento de cargas fracionadas (LTL Problem - Less-than-Truckload Problem). Warier (Warier07) realiza um trabalho cujo foco principal é estudar abordagens de apoio a decisões de carregamento de cargas fracionadas (LTL Carriers).

Vários outros trabalhos de pesquisa relacionados a roteamento de veículos para o transporte de cargas foram apresentados no workshop “Solving Rich VRP models” realizados de 15 a 17 de junho de 2005 na universidade de Molde na Noruega.

1.5

Estrutura da Dissertação

Esta dissertação é dividida em seis capítulos: no Capítulo 2 problemas relacionados a transporte rodoviário de cargas são apresentados e descritos detalhadamente. No Capítulo 3 são listadas as hipóteses consideradas e apresentadas as formulações matemáticas utilizadas para resolver os problemas. No Capítulo 4 são descritos algoritmos de pré-processamento como forma de eliminar variáveis e restrições do problema. Duas estratégias de resolução são

apresentadas e desigualdades válidas para eliminar soluções simétricas são propostas para o problema. No Capítulo 5 são apresentados os testes realizados e os resultados computacionais obtidos. No Capítulo 6 é descrita uma breve conclusão para o trabalho.