Sistema de Roteirização de Entregas

Rafael Toigo, Adhemar M. Valle Filho, Fabio Beylouni Lavratti

Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) Rua Uruguai, 458 - 81.501-970 - Itajaí - SC - Brasil

{toigo,adhemar}@univali.br, fabio@lavratti.com

Abstract. Starting from the nineties, several changes in the economical and commercial Brazilian section forced the companies to look for new administration forms. The logistics appears as a differential that the products should be in their final customers with efficiency and the planned time. The main concern in this project will be with the planning of deliveries of goods accomplished by the companies that do the logistics service to the industries. To manage the distribution and create a route of the best way the deliveries, the proposed system is based on the concept of Heuristic Search in the area of Artificial Intelligence. The expected results for this project are mainly focused on the agility for the creation of the delivery route and which, this brings financial benefits for the transport/logistics companies.

Resumo. A partir dos anos 90, diversas mudanças no setor econômico e comercial brasileiro fizeram com que as empresas buscassem novas formas de gerenciamento. Surge a logística como diferencial para que os produtos cheguem aos seus destinos com eficiência e o tempo planejado. Este artigo apresenta uma abordagem para o planejamento de entregas de mercadorias realizadas pelas empresas que prestam o serviço logístico às indústrias. O sistema proposto baseia-se no conceito de Busca Heurística na área de Inteligência Artificial. Os resultados esperados para este trabalho estão principalmente focados na agilidade para criação da rota de entrega e que a mesma traga benefícios financeiros para as empresas de transporte/logística.

Palavras-chave: inteligência artificial, heurística, caixeiro-viajante, logística

1. Introdução

Num mundo cada vez mais determinado por bens duráveis, mercados regionais e nacionais bem definidos, acreditava-se que a chave para a vantagem competitiva por parte de qualquer organização seria a escolha de um segmento característico e um aprimoramento em cima dele. À medida que a concorrência cresce, os mercados se fragmentam e expandem, está cada vez mais difícil possuir um segmento único de mercado. Como os produtos estão com seus ciclos de vida cada vez mais curtos, dominar segmentos únicos deixou de ser importante dando lugar à criação de novos produtos e a explorá-los rapidamente.

A estratégia competitiva torna-se mais dinâmica. As empresas têm que se antecipar às tendências de mercado gerando respostas rápidas e eficazes aos clientes. As diversas mudanças na estrutura das empresas e em suas políticas organizacionais com aumento no número de pedidos, porém com volume de compra menor, bem como seus estoques reduzidos fizeram com que, ultimamente, houvesse um crescimento muito grande do número de entregas e de veículos trafegando pelas rodovias e vias urbanas, provocando, além de engarrafamentos, aumento nos insumos relacionados aos custos de entregas e nos tempos para se percorrer um determinado roteiro de distribuição da carga. Este fato, associado à necessidade por parte das empresas de reduzir os custos no transporte de cargas, tem despertado o interesse de inúmeros pesquisadores em estudos nessa área, na busca de soluções ótimas para os problemas de roteirização de veículos [Pimenta 2001]. Hoje em dia, as empresas preocupam-se muito em utilizar de forma racional todos os recursos a fim de reduzir os custos relacionados ao transporte. Esse custo é o grande responsável pelo aumento do preço das mercadorias. A redução e a melhora do serviço a

fim de satisfazer da melhor forma possível a necessidade do cliente são problemas que as empresas tem de se preocupar dia-a-dia escolhendo um modal e trajeto para diminuir o tempo e a distância percorrida [Silva 2003].

Este trabalho utiliza-se destas premissas para propor um sistema para a roteirização de veículos denominado SISROTEN. Utilizando-se do método heurístico de Clarke e Wright, conhecido como método das economias juntamente com o algoritmo de otimização 2-opt e 3-opt. Muitos artigos já foram publicados sobre este problema e hoje representa um dos grandes desafios na otimização combinatória para a área de Pesquisa Operacional e Inteligência Artificial. Outro grande interesse por este problema é que, com o Problema do Caixeiro Viajante – PCV (do inglês Traveling Salesman Problem - TSP) e suas variações, muitos problemas reais podem ser modelados [Goldbarg 2000]. O sistema é baseado na abrangência de 3 transportadoras, definindo assim a área de atuação. Foi desenvolvido em PHP, acesso web na plataforma Windows. Após a elaboração do sistema foi realizado um teste em uma transportadora.

2. Metodologia

Segundo Silva [2003], a roteirização e a programação de veículos é uma extensão do problema da roteirização do veículo, em que a cada acréscimo de restrições o problema aproxima-se da realidade. Essas restrições dificultam bastante a obtenção de uma solução ótima, que através de algum procedimento heurístico lógico ou uma boa programação e roteirização permita chegar a resultados satisfatórios. A grande dificuldade de solução dos problemas de otimização combinatória está no número elevado de soluções existentes e não ótimas. Se a distância de uma cidade i a outra j seja simétrica, isto é, que $d_{ij} = d_{ji}$, o número total de soluções possíveis é (n-1)! / 2, sendo classificado na literatura como NP-difícil, isto é, não existem algoritmos que o resolvam em tempo polinomial, somente exponencial. Mesmo com os rápidos avanços tecnológicos a solução é inconcebível para elevados valores da variável n. Propõe-se com este trabalho não encontrar a melhor solução, porém a solução ótima para o problema.

2.1 Método das Economias (Clarke e Wright)

O método das economias vem sendo utilizado em larga escala, pois possibilita a implementação de diversas restrições e seu método de construção de roteiros é consistente. Das diversas restrições, o método, assim como os outros, respeita principalmente tempo e capacidade. Seu objetivo é gerar roteiros com distâncias mínimas para a realização das entregas. Esse método é um dos mais importantes da categoria, pois produz uma saída bem próxima da realidade, ou seja, seu erro em relação à solução ótima é muito baixo [Silva 2003]. Este método assume que um único veículo serve um único cliente. Conforme são cadastrados clientes são requeridos os caminhões, ou seja, para um conjunto de N clientes, o método assume que N veículos serão requeridos. O método então calcula a economia Sij, em distância, que pode ser obtida unindo os clientes i e j e atendendo a eles com um único veículo. A economia Sij é calculada através da fórmula: $S_{ii} = S_{ii} = d_{i1} + d_{1i} - d_{ii}$

Conforme Simas [2004] o método das economias baseia-se na pior hipótese e a partir do momento que começa a combinar entregas mostra sua importância. Em primeira instância, como foi dito, o método considera um veículo para uma única entrega e depois retorna ao ponto de partida. Para se atender todos os clientes, obviamente seriam necessárias uma quantidade muito grande de veículos e de pessoal. Suponha que o cliente j seria atendido após o cliente i, onde dD,i e dD,j são as distâncias do ponto de partida (CD) ao cliente i e j, respectivamente. Então o veículo faria o seguinte percurso: $L=2 \ x \ d_{D,i}+2 \ x \ d_{D,j}$

Uma possibilidade de melhoria seria unir esses dois clientes em um único roteiro. Dessa forma a distância percorrida seria: $L' = d_{D,i} + d_{i,i} + d_{D,i}$

A economia de percurso (ganho) será a diferença entre os dois roteiros (L-L'): $g_{i,j} = L - L' = d_{D,i} + d_{D,j} - d_{i,j}$. Durante a formação da seqüência do roteiro procura-se selecionar o par com maior

ganho gi, j, respeitando sempre as restrições de tempo e capacidade. Analisando a terceira equação, verificam-se duas propriedades: o ganho tende a crescer quando os pontos i e/ou j se afastam do CD, pois as parcelas dD,i + dD,j têm valores positivos; e o ganho tende a crescer quando os pontos i e j estão mais próximos, pois a parcela di,j, que aparece com sinal negativo na relação tem menor valor absoluto.

O método é iniciado através da análise das combinações possíveis em grupos de dois a dois e listados em ordem decrescente de ganho. Conforme Silva [2003], os maiores ganhos são dos pontos mais afastados do CD e mais próximos entre si, portanto, o roteiro é formado a partir dos pontos mais distantes e vindo em direção ao CD. As etapas desse método são:

Etapa 1. Combinam-se todos os pontos dois a dois e calcula-se o ganho para cada combinação;

Etapa 2. Ordenam-se todas as combinações i, j, de forma decrescente, segundo os valores dos ganhos gi,j;

Etapa 3. Inicia-se com a combinação de maior ganho. Posteriormente, na análise de outras situações, vai-se descendo na lista de combinações, sempre obedecendo à seqüência decrescente de ganhos;

Etapa 4. Para um par de pontos (i, j), verificar: (a) se i e j não foram incluídos em nenhum roteiro já iniciado, criar então um novo roteiro com esses dois pontos; (b) se o ponto i já pertence a um roteiro iniciado, verificar se esse ponto é primeiro ou último desse roteiro (sem contar o CD). Se a resposta for positiva, acrescentar o par de pontos (i,j) na extremidade apropriada. Fazer a mesma análise para j; se nenhum dos dois pontos satisfizer essa condição separadamente, passar para o item (c); (c) se ambos os pontos i e j fazem parte, cada um deles, de roteiros iniciados, mas diferentes, verificar se ambos são extremos dos respectivos roteiros. Se a resposta for positiva, fundir os dois roteiros num só, juntando-os de forma a unir i e j. Caso contrário, Etapa 5; e (d) se ambos os nós pertencerem ao mesmo roteiro, passar para Etapa 5.

Etapa 5. Cada vez que se acrescentar um ou mais pontos num roteiro, ou quando se fundir dois roteiros num só, verificar se a nova configuração satisfaz as restrições de tempo e de capacidade. Se atender aos limites das restrições, a nova configuração é aceita; e

Etapa 6. O processo termina quando todos os pontos (clientes) tiverem sido incluídos num roteiro.

2.2 Método de Melhorias (Otimização 2-opt e 3-opt)

Os métodos de melhorias procuram aperfeiçoar o resultado obtido por um método qualquer, através da uma sistemática preestabelecida. Os métodos mais utilizados desenvolvidos por Lin e Kernighan [1973] são o 2-opt e 3-opt. O método 2-opt, que é mais simples consiste em permutar arcos em uma rota inicial, buscando encontrar uma rota de menor custo constituído pelas seguintes etapas [Novaes 2001 *apud* Silva 2003]:

Etapa 1. Começa com um roteiro qualquer, de preferência gerado por um método de construção;

Etapa 2. Removem-se dois arcos do roteiro e reconectam-se (tentativa) os nós que formam esses dois arcos, modificando as ligações. Se o resultado for melhor que o anterior, ou seja, roteiro menor, substitui-se o roteiro inicial pelo novo e repete-se a Etapa 2. Caso contrário, o roteiro anterior é mantido, outros dois arcos são escolhidos, repetindo a Etapa 2 e assim sucessivamente; e

Etapa 3. O processo termina quando não é possível obter nenhuma melhoria, ao realizar todas as trocas de ligação possíveis.

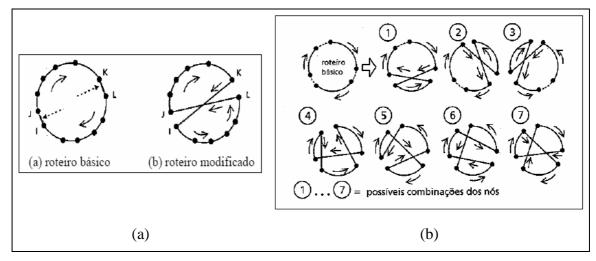


Figura 1 - Métodos de Otimização: (a) 2-opt; (b) 3-opt. (Fonte: Cunha 2002)

O método 3-opt tem o mesmo conceito que o 2-opt, com a diferença que agora são tomados três pares de nós de cada vez. O método 3-opt é um pouco mais complexo que o 2-opt, no entanto, oferece resultados mais precisos. Cunha, Bonasser e Abrahão [2002] demonstram a movimentação dos métodos de otimização 2-opt e 3-opt conforme a Figura 1.

3. Desenvolvimento

O sistema desenvolvido neste trabalho recebeu o nome de SISROTEN – Sistema de Roteirização de Entregas. Para o desenvolvimento do sistema um passo importante foi definir o número de cidades isto é, a abrangência da transportadora. Com base em três empresas de transporte de cargas e encomendas que tem grande expressão no cenário da região sul foram definidas quarenta e oito cidades. Dezoito cidades de Santa Catarina, dezenove cidades do Rio Grande do Sul e onze cidades do estado do Paraná. Com a matriz de distâncias foi possível a criação de uma malha, através da qual o sistema otimiza o melhor roteiro. Os passos da implementação foram os seguintes: cadastro de clientes, motoristas, entregas, caminhões e cidades.

Ao iniciar o sistema o usuário seleciona: emitir um roteiro para uma determinada cidade, o primeiro passo do algoritmo de roteirização é buscar os dados do caminhão escolhido, nestes dados encontram-se as cidades. As entregas para uma determinada cidade armazenadas no vetor têm seus pesos e volumes somados. Caso essa soma ultrapasse os limites do caminhão tanto em peso ou volume, o algoritmo irá dar prioridade para as entregas mais antigas conforme data informada no registro de uma nova entrega. Caso as entregas não sejam suficientes para lotar o caminhão, ou seja, a soma de peso e volume das entregas selecionadas são inferiores aos limites do caminhão, o algoritmo busca as entregas mais próximas à cidade de origem. Portanto o algoritmo, responsável pela busca de mais entregas recebe três parâmetros de busca: o código da cidade de destino do roteiro, o peso e o volume que ainda cabem no caminhão.

A emissão de um roteiro constitui em despachar um caminhão. Este caminhão pode transportar várias entregas/notas fiscais, de vários clientes, ou somente uma entrega/nota fiscal, de um cliente. Isto vai depender do peso das mercadorias, e do peso máximo que o caminhão suporta (tara). a tela com o roteiro inicial sem otimização. É apresentado as notas fiscais que serão embarcadas bem como os dados do caminhão.

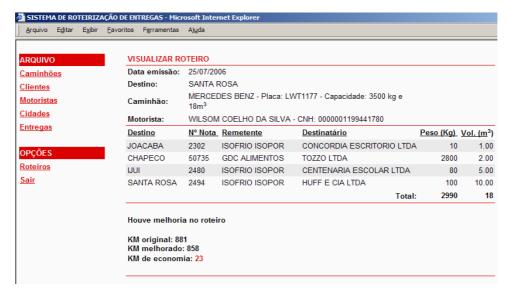


Figura 2 – Tela do sistema após aplicação do algoritmo

Após gerar o roteiro, é possível efetuar o cálculo k-opt no mesmo, afim de verificar se existem otimizações possíveis, ou seja, se o trajeto a ser percorrido pelo caminhão pode ser reduzido. Na tela de visualização do roteiro, existe um botão para calcular pelo método k-opt. Se este botão for acionado o sistema busca o roteiro em questão no banco de dados. Os dados iniciais de distâncias percorridas e quantidades de cidades que o caminhão passa são armazenadas. Obtendo as informações, o sistema faz todas as trocas de ordem entre as cidades e calcula a quilometragem final de cada troca. Caso a distância percorrida seja menor que a distância original obtida o sistema toma como melhor roteiro e o salva no banco de dados. Após efetuado o cálculo, é mostrado o roteiro resultante, sendo informada, também, a quilometragem do roteiro original, a quilometragem do roteiro após o cálculo k-opt e a economia resultante.

A Figura 2 apresenta a tela após o cálculo de melhoria k-opt informando o roteiro final e se após este cálculo houve ou não alguma melhora. O sistema desenvolvido foi comparado com outros sistemas para verificar as características e pontos fracos e fortes para colaborar no desenvolvimento. A Tabela 01 mostra este comparativo com outras ferramentas semelhantes ao sistema proposto.

	SISROTEN	TransCAD	Delivery	Multitrans
Comercial	Não	Sim	Sim	Não
Preço	Sem custo	U\$ 11000,00	R\$ 3000,00	Sem custo
Plataforma	Multiplataforma	Windows	Windows	Windows
Banco de Dados	My SQL	Não Informado	Não Informado	Paradox
Implementação	PHP	Não Informado	Não Informado	Delphi
Veículos	Carreta e Truck	Não Informado	Não Informado	Furgão e Ônibus
Restrições	Peso e Volume	Janela de Tempo e	Janela de Tempo,	Peso
		Peso	Peso e Volume.	
Heurística	Método das	Caminho Mínimo	Não Informado	Menor Caminho
	Economias			
Otimização	2-opt/ 3-opt	Não Informado	Não Informado	CPLEX
Esforço	Fraco	Grande	Médio	Grande
computacional				
Depósitos	1	Vários	1	1
Mapas	Não	Sim	Sim	Não

Tabela 01 – Comparativo das Ferramentas de Roteirização

4. Testes

Após os primeiros testes realizados, observou-se que o método de melhoria utilizado, k-opt, algumas vezes não tem resultado positivo, pois o roteiro criado inicialmente já é o mais reduzido. Portanto este é escolhido como o melhor. Para roteiros com muitas entregas o método k-opt fica impraticável devido ao tempo computacional e portanto a página web expira e não retorna uma solução. Isto ocorre quando o servidor encontra-se muito longe do local da consulta. Outro ponto levantado é que o projeto deve ser utilizado por empresas com grande número de entregas, visto que, se há poucas entregas ou muito fracionadas o caminhão irá percorrer os três estados da região escolhida, levando-se em consideração que o sistema tem como objetivo principal lotar o caminhão até o máximo de seu peso ou volume.

Na fase de testes na empresa, onde ocorreu o treinamento dos usuários, foi constatado que houve facilidade na utilização do protótipo, já que o sistema procurou utilizar o vocabulário do dia-a-dia de transportadoras. Houve certa resistência à mudança ou utilização de um novo software visto que haveria a fase de aprendizagem, e um tempo necessário para o recadastramento de grande parte dos dados.

5. Resultados e Conclusões

A respeito de heurística, para se obter uma solução viável, existem várias propostas na literatura. Porém, nenhuma pode garantir a solução ótima. O método das economias sugerido neste trabalho é para otimizar o desempenho de uma determinada heurística. Quanto melhor for a heurística usada, melhores serão os resultados obtidos. O custo para isto é um tempo maior para resolução, que é compensado pela qualidade da solução fornecida. As principais simplificações feitas com relação a um problema de roteirização real foram: a não consideração da sua natureza dinâmica; a não consideração da diversidade da frota de veículos (mesmo tipo, porém com capacidade, custo e velocidade diferentes); a não consideração de heterogeneidade dos produtos a serem transportados; a não consideração das leis trabalhistas (regime de trabalho dos motoristas); a não consideração de janelas de tempo.

Entretanto, pode-se concluir que este estudo de otimização mostra ser possível, mesmo empregando técnicas simples e eficientes, otimizar o custo em uma malha rodoviária, bem como na rede de transporte de cargas, contendo diferentes tipos de produtos e veículos, além de permitir o reaproveitamento de veículos, atendendo às restrições de capacidade, no menor custo possível, utilizando-se de técnicas já conhecidas. Este trabalho também vem ao encontro de buscar novas tecnologias para gerenciamento, logística e controle para uma empresa moderna.

6. Referências Bibliográficas

CUNHA, Cláudio Barbieri da; BONASSER, Ulisses de Oliveira; ABRAHÃO, Fernando Teixeira Mendes. Experimentos Computacionais com Heurísticas de Melhorias para o Problema do Caixeiro Viajante. 2002. Disponível em: <<u>www.ptr.poli.usp.br/ptr/docentes/cbcunha/files/2-opt_TSP_Anpet_2002_CBC.pdf</u>>. Acesso em 02 maio 2005

GOLDBARG, Marco César; LUNA Henrique Pacca L. **Otimização Combinatória e Programação Linear**: modelos e algoritmos. Rio de Janeiro: Campus, 2000. ISBN 85-352-0541-1.

LIN, S. and KERNIGHAN, B. W. An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem, Operations Research, v. 21, p. 498-516, 1973

PIMENTA, Daniel Jose. Algoritmo de Otimização para o Problema de Roteamento de Veículos no Transporte Conjunto de Cargas e de Passageiros. 2001. Disponível em: www.cpdee.ufmg.br/~joao/TesesOrientadas/VAS2001_1.pdf>. Acesso em: 05 maio 2005

SILVA, Vinicius da. Logística e Transporte na Indústria Brasileira de Laticínios: Estudo de Casos. 2003. Disponível em <<u>www.em.ufop.br/em/DEPRO/monografias/2003vinicius.pdf</u>>. Acesso em: 29 maio 2005.

SIMAS, Etiene Pozzobom Lazzeris. Uma Solução para o Problema de Roteamento de Veículos através de Pesquisa Tabu. 2004. Disponível em < <u>www.inf.unisinos.br/alunos/arquivos/Tc_EtieneSimas.pdf</u> >. Acesso em: 02 junho 2005.