

MODELAGEM E SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE SELEÇÃO DE PONTOS DE PARADA DE ÔNIBUS CONTRATADOS PARA TRANSPORTE DE FUNCIONÁRIOS

Denis Ferreira da Silva Filho¹; Tatiana Balbi Fraga²

¹Estudante do Curso de Engenharia de Produção –CAA – UFPE; E-mail:denisferreira93@hotmail.com,

²Docente/pesquisador do Núcleo de Tecnologia – CAA – UFPE. E-mail: tatianabf_8@hotmail.com.

Sumário: Um dos problemas de grande importância que surgem em empresas que prestam serviços de fretamento de ônibus para transporte de funcionários consiste em definir rotas para os ônibus fretados de forma a atender seus clientes adequadamente ao mesmo tempo em que se busca a minimização dos custos implicados. No presente trabalho procura-se solucionar o problema de definição das rotas de menor custo para serviços de fretamento contratados, levando-se em conta a capacidade dos ônibus assim como a distância percorrida pelos funcionários transportados entre suas respectivas residências e os pontos de parada de ônibus onde os mesmos serão apanhados para transporte. Para tanto é aplicado um modelo matemático para o problema em questão no qual os problemas de seleção de pontos parada visitados pelos ônibus e de definição das rotas entre estes pontos são tratados simultaneamente. Esse modelo é então resolvido pela aplicação simultânea dos métodos GRASP e Dual Simplex. O método híbrido é testado apresentando bons resultados para o problema em questão, contudo tendo em vista que o método GRASP não busca soluções ótimas, outros métodos ou heurísticas devem ser aplicados de forma a melhorar a solução encontrada. Outras importantes considerações a respeito da aplicação considerada são também apresentadas.

Palavras-chave: método dual simplex; método grasp; problema de roteamento; problema de seleção de pontos de parada; transporte de funcionários;

INTRODUÇÃO

O setor de transportes é de grande importância social e econômica para o Brasil. Em Caruaru 20 empresas atuam nesse setor, e prestam diferentes tipos de serviço, tais como: transporte de passageiros interestadual e intermunicipal, linhas urbanas e rurais e fretamento especial e contínuo. Devido à concorrência nesse setor é fundamental que as empresas tenham conhecimento das reais expectativas dos clientes e do seu nível de satisfação com o serviço prestado. Num trabalho realizado em classe pelas alunas Luana Justino Andrade do Nascimento e Sabrina Macedo Lopes Lima (NASCIMENTO; LIMA, 2014), no qual o modelo dos 5 Gaps é aplicado para análise e melhoramento da qualidade dos serviços em uma empresa de transporte de Caruaru, foi diagnosticado que, quando se tratando de fretamento de ônibus para transporte de funcionários de empresas contratantes, um dos problemas que se observa é que os funcionários transportados apresentam um alto grau de insatisfação com relação à distância percorrida entre seus respectivos domicílios e os pontos de parada dos ônibus fretados. De acordo com uma pesquisa informal realizada, o gestor da empresa de ônibus avaliada reconhece este problema, contudo acredita ser impossível resolvê-lo uma vez que o número de colaboradores é muito alto de forma que se torna impossível agradar a todos.

Esse problema trata-se de um problema de otimização combinatória, onde deve-se escolher um conjunto de pontos de parada (entre todos os possíveis pontos) assim como a rota definida entre esses pontos, de forma a otimizar uma determinada função objetivo, definida

de acordo com os critérios de satisfação dos funcionários e as restrições delimitadas pelo orçamento permitido para o transporte. Na literatura muitos problemas similares foram estudados. Esses problemas são geralmente definidos como problemas de localização (*location problem*) e/ou roteamento (*routing problem*). Como exemplo podemos citar o trabalho de Gleason (1975) que trata do problema de localização de pontos de parada de ônibus expressos em rotas nas quais já foram anteriormente designados ônibus regulares. Nesse problema busca-se o menor número de paradas necessárias para assegurar que nenhum passageiro precise andar mais do que uma determinada distância para alcançar os ônibus expressos. Os autores trabalham o problema como um "problema de cobertura de conjunto" (*set covering problem*). Ceder, Prashker e Stern (1983) buscam solucionar o problema onde se deseja localizar o menor número possível de pontos de parada de transportes públicos de forma a assegurar que a distância percorrida por cada passageiro (para pegar o transporte) seja menor do que uma distância pré-estabelecida. Ibeas *et al.* (2010) consideram um problema de seleção de pontos de parada de ônibus no qual busca-se minimizar o custo social no sistema geral de transporte. O trabalho leva em conta as possíveis alterações na demanda devido a diferentes locais de parada de ônibus, considerando o congestionamento nos ônibus, a interação com o tráfego privado, as variáveis operacionais (frota, a frequência, os orçamentos de operação), assim como as características sócio-demográficas de cada zona na área urbana. Riera-ledesma e Salazar-gonzález (2012) introduzem uma generalização do problema do caixeiro viajante, definida como Problema de Caixeiro Viajante com Múltiplos Veículos (ou MV-TPP do inglês *multi-vehicle traveling purchaser problem*). Schittekat *et al.* (2013) tratam do problema de roteamento de ônibus escolares com seleção de pontos de parada. Nesse artigo os autores apresentam um modelo matemático onde os problemas de seleção de pontos de parada e de roteamento são tratados de forma simultânea. Nesse problema os pontos devem ser selecionados de forma a garantir que cada ponto esteja alocado a uma distância máxima da residência dos estudantes os quais o respectivo ponto irá atender. Também se considera que os ônibus têm um limite de passageiros e que, portanto, os estudantes devem ser alocados aos pontos de parada de forma a não ultrapassar esse limite. Apesar destes problemas geralmente apresentarem grande complexidade em função do alto número de soluções possíveis, muitos métodos e heurísticas podem ser aplicados em sua solução, *i.e.* Riera-ledesma e Salazar-gonzález (2012) apresentam um algoritmo de Ramificação e Corte para a solução do problema considerado em seu trabalho enquanto que Schittekat *et al.* (2013) resolvem o problema abordado em seu artigo usando um método definido pelos autores como Descida com Vizinhança Variável (do inglês *Variable Neighborhood Descent method*). No presente trabalho é proposto um modelo matemático para o problema considerado, baseado no modelo de Schittekat *et al.* (2013). Esse modelo é então resolvido pela aplicação de um algoritmo construído com base nos métodos GRASP e Dual Simplex.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, inicialmente foi feito um estudo bibliográfico relacionado a problemas semelhantes ao problema estudado, além de um estudo sobre programação em linguagem C++. Em paralelo foi elaborada uma descrição detalhada do problema onde foram identificadas suas variáveis de decisão assim como suas restrições e os objetivos a serem atendidos. Com base nesse levantamento e na revisão bibliográfica foi apresentado como modelo matemático uma adaptação do modelo apresentado por Schittekat *et al.* (2013). Para solução do modelo foi desenvolvida uma ferramenta computacional (em linguagem C++), baseada nos métodos GRASP e Dual Simplex. Enquanto o método GRASP é aplicado para definição das rotas de menor custo, o método Dual Simplex é aplicado para garantir que as restrições de capacidade do ônibus e de distância máxima

percorrida pelos funcionários sejam respeitadas (para mais detalhes ver Schittekat *et al.* 2013). Para validação e teste da ferramenta computacional desenvolvida, inicialmente foi utilizado um problema teste conforme apresentado na próxima seção, e posteriormente foram aplicados alguns benchmarks apresentados por Schittekat *et al.* (2013) e os resultados foram comparados com os do método Descida com Vizinhança Variável proposto pelos autores.

RESULTADOS

Para validação da ferramenta computacional desenvolvida foi utilizado o problema teste conforme apresentado na Tab. 1, abaixo.

Número de pontos de parada:	6
Número de funcionários:	5
Distância máxima percorrida:	5000
Capacidade do ônibus:	5, 3 ou 2

Localização dos Funcionários:			Localização dos Pontos de Parada:		
Funcionário:	X	Y	Parada:	X	Y
0	50000	50000	1	87389	24311
1	84202	26662	2	33873	41106
2	30611	44447	3	79084	12957
3	78207	15514	4	31180	56512
4	33377	53943	5	47527	24493
5	43488	23897			

Tabela 1. Dados do problema teste.

Nesse problema inicialmente a capacidade dos ônibus é ajustada para 5 (mesma quantidade de funcionários) de forma que se espera que a solução dada seja representada por uma única rota (Teste 1). Posteriormente a mesma capacidade foi ajustada para 3 e 2, de forma que se espera que a solução apresente 2 e 3 rotas, respectivamente, para que as mesmas sejam viáveis atendendo à restrição de capacidade dos ônibus (Testes 2 e 3, respectivamente). Finalmente foram retirados os pontos de parada 4 e 5 do problema, esperando-se que o programa enviasse uma mensagem de erro informando que o conjunto de pontos de parada não atende a todos os funcionários (Teste 4). O programa respondeu da forma esperada a todos os testes realizados conforme apresentado na Tab. 2.

Teste	Solução	Custo
Solução Inicial do método GRASP	0 1 0 0 2 0 0 3 0 0 4 0 0 5 0	150.114,00
1	0 4 2 5 3 1 0	99.600,50
2	0 4 2 0 0 5 3 1 0	102.252,34
3	0 3 1 0 0 4 2 0 0 5 0	111.088,06
4	Mensagem de erro	xxx

Tabela 2. Solução dos primeiros casos testes (conforme apresentado Tab. 1).

A ferramenta computacional também foi testada utilizando alguns dos benchmarks propostos por Schittekat *et al.* (2013), apresentando bons resultados. Algumas importantes considerações são discutidas na próxima seção.

DISCUSSÃO

Algumas observações devem ser consideradas quando se tratando do problema real abordado nesse trabalho, são elas:

1. No modelo apresentado considera-se um único ponto de origem, enquanto que no problema real são considerados dois pontos distintos: o ponto de origem (empresa de ônibus) e o ponto de destino (local para onde os funcionários devem ser transportados);
2. O método GRASP foi desenvolvido apenas para gerar uma boa solução inicial sem, no entanto, buscar o melhoramento dessa solução. Essa solução parte do princípio de que os pontos de parada visitados são conhecidos. Por essa razão, nos resultados para os problemas testes propostos por Schittekat *et al.* (2013), todas as soluções oferecidas foram construídas usando todos os pontos de parada possíveis. No caso do problema real, para fins de otimização, deve-se considerar que dentre os pontos de parada apresentados, alguns podem ser descartados desde que a solução dada atenda as restrições de capacidade dos ônibus e alocação dos funcionários (respeitando-se a distância máxima a ser percorrida pelos mesmos).

No caso da primeira observação, uma possível solução seria usar dois pontos de origem distintos como sendo um único ponto. A diferenciação seria tratada de forma simplificada no cálculo da matriz de distâncias. No segundo caso, torna-se necessária a aplicação de outros métodos e/ou heurísticas, tais como o método Descida com Vizinhança Variável, conforme proposto por Schittekat *et al.* (2013) e/ou outros métodos ou heurísticas aplicadas à solução de problemas de otimização combinatória.

CONCLUSÕES

Nesse trabalho foi elaborada uma ferramenta computacional (em linguagem C++) destinada a solução de um problema de determinação de rotas para os serviços de fretamento contratados em uma empresa que fornece serviços de transporte. Para elaboração dessa ferramenta foi considerado um modelo matemático que trata os problemas de roteamento e de seleção de pontos de parada dos ônibus de forma simultânea, sendo que as restrições de capacidade dos ônibus e da distância máxima percorrida pelos funcionários entre suas respectivas residências e os pontos de ônibus em que os mesmos serão coletados são também consideradas. Para solução do modelo foi aplicado um algoritmo híbrido baseado nos métodos GRASP e Dual Simplex, onde o método GRASP define rotas entre o conjunto predefinido de pontos de parada considerados, enquanto que o método Dual Simplex verifica a viabilidade das soluções avaliadas pelo método GRASP com relação à capacidade dos ônibus e à distância máxima percorrida pelos funcionários.

Os resultados dos testes computacionais para validação do algoritmo apresentaram boas soluções viáveis, contudo o algoritmo desenvolvido não busca a otimalidade e não realiza uma seleção entre os pontos de parada considerados. Para isso é necessário a aplicação de outros métodos e/ou heurísticas que consigam obter soluções mais refinadas. Essa aplicação será tratada no projeto PIBIT, já aprovado, a ser realizado nesse ano. Ademais, durante a realização do trabalho, foi também observado que o modelo matemático assim como o método GRASP aplicados consideram um único ponto de origem (garagem) enquanto que no problema tratado deve-se levar em conta que os pontos de origem e

destino não apresentam a mesma localização geográfica. Concluiu-se que essa questão pode ser facilmente resolvida, considerando os pontos de parada e de origem como sendo um único ponto e tratando a diferença na elaboração da matriz de distâncias entre os pontos de parada e entre estes e a origem. Essa aplicação também será considerada no projeto PIBIT.

AGRADECIMENTOS

Aos órgãos FACEPE, CNPQ e Propesq, pela oportunidade oferecida para realização deste trabalho. A minha orientadora Tatiana Balbi Fraga, por toda dedicação na orientação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- CEDER, Avashai; PRASHKER, Joseph N.; STERN, Jelman I. An algorithm to evaluate public transportation stops for minimizing passenger walking distance. **Applied Mathematical Modelling**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.19-24, fev. 1983.
- GLEASON, John M.. A set covering approach to bus stop location. **Omega**, [s.l.], v. 3, n. 5, p.605-608, out. 1975.
- IBEAS, Ángel et al. Optimizing bus stop spacing in urban areas. **Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review**, [s.l.], v. 46, n. 3, p.446-458, maio 2010.
- NASCIMENTO, Luana Justino Andrade do; LIMA, Sabrina Macedo Lopes. **Aplicação do modelo dos “5 gaps” em uma empresa de ônibus em Caruaru – PE**. Caruaru, Pe: Caaufpe, 2014. 15 p. Disponível em: <<http://gamosufpe.wix.com/gamos#!relat-rios-t-cnicos/ga9y5>>. Acesso em: 09 mar. 2014.
- RIERA-LEDESMA, Jorge; SALAZAR-GONZÁLEZ, Juan-josé. Solving school bus routing using the multiple vehicle traveling purchaser problem: A branch-and-cut approach. **Computers & Operations Research**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.391-404, fev. 2012.
- SCHITTEKAT, Patrick et al. A metaheuristic for the school bus routing problem with bus stop selection. **European Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 229, n. 2, p.518-528, set. 2013.