



SPOLM 2008

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 05 e 06 de agosto de 2008.

UMA MELHORIA DE PERFORMANCE DA METAHEURÍSTICA BUSCA TABU USANDO RECONEXÃO DE CAMINHOS: ESTUDO DE CASO NO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

Raqueline Azevedo Medeiros Santos

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova
CEP 59072-970 Natal - RN - Brasil
raqueline@gmail.com

Davi Aloise

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova
CEP 59072-970 Natal - RN - Brasil
davialoise@gmail.com

Dario José Aloise

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova
CEP 59072-970 Natal - RN - Brasil
dario@pep.ufrn.br

Resumo

Este artigo propõe um aprimoramento na estratégia de diversificação da Busca Tabu através da utilização de procedimentos de Reconexão de Caminhos. Para isso, é utilizada a estratégia de diversificação por reinício. A nova metodologia é aplicada no problema de *p*-medianas para que possamos validar nossa proposta a partir dos resultados computacionais obtidos.

Palavras-Chaves: busca tabu; reconexão de caminhos; diversificação; problema de *p*-medianas.

Abstract

This paper proposes an improvement in the diversification strategy of Tabu Search through the usage of Path Relinking procedures. The restart diversification strategy is used and the new methodology is applied in the *p*-median problem so we can obtain computational results in order to validate our proposal.

Keywords: tabu search; path relinking; diversification; *p*-median problem.

1. INTRODUÇÃO

As metaheurísticas, como explica [1] são métodos que orquestram a interação entre procedimentos de melhoras locais e estratégias de alto nível para criar um processo capaz de escapar de um ótimo local e realizar uma busca mais robusta no espaço de soluções. Esse termo surgiu no mesmo trabalho que introduziu a Busca Tabu em 1986 [2].

De acordo com[3], a filosofia da Busca Tabu está na exploração de uma coleção de princípios de resolução inteligente de problemas. Dessa forma, uma das principais características dessa metaheurística, é que ela escapa de ótimos locais permitindo a realização de movimentos não aprimorantes. Isso significa que ela abre espaço no conjunto de soluções percorrendo-o de forma mais abrangente.

Como vemos em [4] e em [3], a Busca Tabu utiliza uma memória de curto prazo, também chamada de lista tabu. Essa lista impede que o algoritmo gere ciclos durante a busca, já que ela armazena os movimentos recentes, impedindo que sejam executados novamente. Apesar de impedir a geração de ciclos, a lista tabu pode impedir que soluções ainda não visitadas sejam excluídas da busca. Para solucionar esse problema, utiliza-se o critério de aspiração, que permite que o movimento seja realizado caso, por exemplo, essa solução seja melhor que a melhor solução encontrada. Portanto, esse critério pode evitar a perda de boas soluções.

Segundo [4], diversificação é um mecanismo algorítmico que tenta forçar a busca por áreas não exploradas no espaço de busca. Na Busca Tabu, a fase de diversificação geralmente é implementada utilizando uma memória de longo prazo [1]. Essa memória pode, por exemplo, armazenar os atributos menos utilizados durante a busca.

A Reconexão de Caminhos, introduzida por Glover e Laguna em 1993, define uma maneira de explorar outras soluções estabelecendo trajetórias entre soluções já encontradas. Também foi sugerido como um método para integrar estratégias de diversificação e intensificação [3]. A idéia fundamental por trás dessa estratégia é que boas soluções possuem características semelhantes. Dessa forma, a Reconexão de Caminhos, de acordo com [5] gera caminhos partindo de uma solução corrente até uma solução elite, de forma que os atributos da solução elite sejam introduzidos na solução corrente a cada iteração. Por isso, a Reconexão de Caminhos, muitas vezes, pode ser interpretada como um método evolucionário em que as soluções são geradas através da combinação dos elementos de outras soluções, como cita [6].

No decorrer deste trabalho, estaremos propondo um aprimoramento na estratégia de diversificação para a metaheurística Busca Tabu utilizando Reconexão de Caminhos. Na seção 2, descreveremos qual a idéia da estratégia desenvolvida. Na seção 3, mostramos os resultados computacionais obtidos. E, em seguida, na seção 4, temos as considerações finais.

2. APRIMORAMENTO DA ESTRATÉGIA DE DIVERSIFICAÇÃO

Primeiramente, iremos apresentar a proposta descrita por [7], na qual baseamos nosso trabalho.

Nessa proposta, foi utilizada a estratégia de diversificação por reinício, que consiste em forçar atributos raramente utilizados na solução corrente (ou na melhor solução encontrada) e reiniciar a busca desse ponto. Dessa forma, o algoritmo de Busca Tabu começa a partir de uma solução inicial e procura, a cada iteração, por melhores soluções na vizinhança da solução corrente. A diversificação por reinício é aplicada na solução corrente quando um determinado critério é satisfeito obtendo, assim, um novo ponto de partida para a busca. Podemos perceber, na Figura 1, que quando a diversificação é realizada, a exploração de uma vasta região no espaço de busca é negligenciada, embora o algoritmo possa voltar depois para explorar essa região.

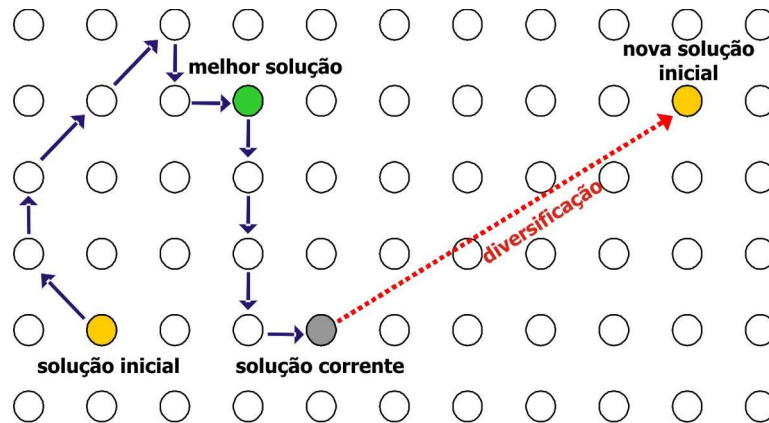


Figura 1 - Exemplo de diversificação por reinício

Portanto, a proposta apresentada em [7] assegura que a região negligenciada pela diversificação seja explorada através da aplicação da Reconexão de Caminhos entre a melhor solução encontrada e a solução diversificada, como é ilustrado na Figura 2.

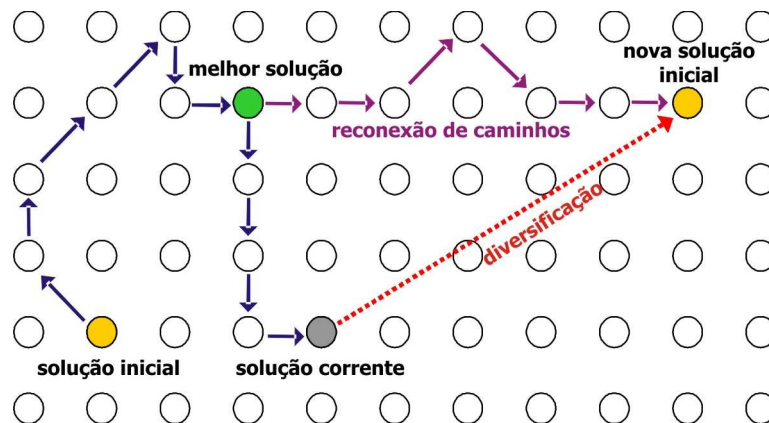


Figura 2 - Reconexão de Caminhos integrada a diversificação por reinício

Conseqüentemente, nossa proposta é, na verdade, um aprimoramento da proposta descrita por [7]. Ao invés de realizarmos apenas uma diversificação e aplicarmos a Reconexão de Caminhos, propomos a realização do que chamamos de “uma explosão de diversificações”, ou seja, fazemos várias diversificações (para este trabalho realizamos três diversificações) e aplicamos a Reconexão de Caminhos em cada uma delas, tendo cada solução diversificada como solução guia. Esse processo é ilustrado pela Figura 3, onde podemos verificar que a busca continua de uma das soluções diversificadas.

Além de fazermos uma comparação com a estratégia de [7] com o intuito de validarmos nossa estratégia, faremos uma intensificação no algoritmo da seguinte maneira: durante a realização da busca, a melhor solução dos procedimentos de Reconexão de Caminhos é armazenada; ao final, quando o critério de parada for satisfeito, verificamos qual a melhor solução (comparando com a melhor obtida pelas Reconexões de Caminhos) e aplicamos a Reconexão de Caminhos entre a melhor solução e a solução corrente; depois disso, a busca continua a partir da melhor solução encontrada por esse procedimento de Reconexão de Caminhos até que um certo número de iterações não aprimorantes seja

alcançado.

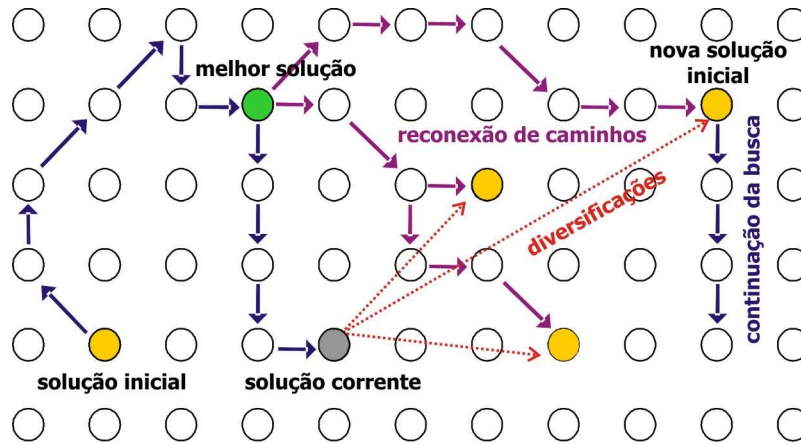


Figura 3 - Explosão de diversificações aplicando Reconexão de Caminhos

3. RESULTADOS

Da mesma forma que em [7], implementamos a Busca Tabu no problema de p -medianas, que é um dos mais conhecidos problemas de localização de facilidades. Segundo [8], trata-se de um problema clássico que consiste em localizar p facilidades (denominadas medianas) em uma rede, de modo a minimizar a soma das distâncias de cada nó de demanda à sua mediana mais próxima. Esse problema tem grande importância prática como, por exemplo, na localização de antenas de telecomunicação e/ou de roteadores *wireless*.

O algoritmo de Busca Tabu explora sua vizinhança utilizando a abordagem de troca descrita em [9]. Essa abordagem, como explora detalhadamente [10], refere-se à implementação de Whitaker sujeita a apenas uma alteração: todas as trocas são avaliadas e a mais proveitosa é executada.

Os testes foram realizados nas mesmas instâncias utilizadas por [7], que foram retiradas da *OR-Library* [9]. Além disso, a implementação do algoritmo foi feita na linguagem C++, usando a versão 4.0 do compilador g++. E os experimentos foram realizados num Intel Core 2 Duo 2.0 GHz com 1Gb de memória RAM rodando o MAC OS X 10.4.10.

As diversificações no algoritmo são realizadas da seguinte forma. Seja n o número de elementos (nós) de uma determinada instância para o problema de p -medianas. Uma solução válida é composta por p elementos (p facilidades ou medianas). Então, quando o critério de diversificação é satisfeito, uma determinada quantidade de elementos, pertencente ao conjunto formado pelos $n-p$ elementos, são inseridos na solução corrente, de acordo com suas frequências (memória de longo prazo), substituindo os elementos mais frequentes naquela solução. Como realizamos três diversificações, uma delas insere $p/4$ elementos e as outras duas $p/8$ elementos cada uma. Após cada diversificação, a memória de longo prazo é reinicializada para evitar que os mesmos elementos sejam utilizados nas diversificações seguintes.

Com relação ao critério de diversificação, o algoritmo diversifica a busca depois de 30, 60 ou 90 iterações serem realizadas sem que haja melhora na melhor solução encontrada desde a última diversificação.

Na Tabela 1 podemos ver os resultados obtidos, lembrando que as colunas P1 referem-se aos resultados obtidos utilizando a proposta descrita em [7], ou seja, fazendo apenas uma diversificação. As colunas P2 são os resultados obtidos pela nossa proposta, usando a explosão de diversificações. Dessa forma, para cada instância, cada uma das condições foi executada 20 vezes usando como critério de parada a realização de cinco diversificações. Os resultados medem a frequência com que a execução da reconexão de caminhos encontrou uma melhor solução do que a melhor solução encontrada até aquele

momento.

Tabela 1 - Porcentagem das tentativas de reconexão de caminhos com sucesso

Instâncias			Número de iterações não aprimorantes antes da diversificação					
			30 iterações		60 iterações		90 iterações	
Nome	n	p	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Pmed29	600	120	5,26%	4,60%	5,38%	5,38%	4,55%	10,23%
Pmed30	600	200	3,26%	4,26%	2,15%	5,49%	5,43%	4,35%
Pmed33	700	70	4,76%	5,00%	3,70%	7,55%	13,95%	25,00%
Pmed34	700	140	3,23%	3,23%	3,95%	2,35%	2,41%	1,19%
Pmed37	800	80	2,35%	4,71%	6,90%	7,87%	6,82%	5,56%
Pmed40	900	90	3,00%	3,00%	1,00%	4,00%	4,00%	8,00%
Média:			3,64%	4,13%	3,85%	5,44%	4,69%	9,05%

A partir da expressão dos resultados, vemos que a nossa proposta obteve, em geral, uma melhor frequência de reconexões de caminho com sucesso. Além disso, observamos que a reconexão de caminhos apresenta uma maior taxa de sucesso quando a condição para a diversificação é menos restrita, ou seja, à medida que aumenta o número de iterações não aprimorantes antes da diversificação, a taxa de sucesso é maior. Como explica [7], isso ocorre porque à medida que a busca é realizada, mais informações úteis são obtidas sobre os elementos e, portanto, uma solução diversificada mais confiável pode ser obtida.

Através da Figura 4, a seguir, notamos o mesmo efeito observado por [7], indicando que a maior parte dos sucessos se encontra na primeira diversificação realizada. Isso já era esperado, pois, no decorrer da busca, a cada iteração se torna mais difícil encontrar uma solução melhor que a melhor já encontrada.

Na Tabela 2, temos o resultado com a aplicação da intensificação (descrita na seção anterior) para a seguinte configuração do algoritmo:

- cada uma das três diversificações insere p/8 elementos;
- para cada instância, cada uma das condições foi executada 20 vezes usando como critério de parada a realização de cinco diversificações;
- o algoritmo diversifica a busca depois de 30, 60 ou 90 iterações serem realizadas sem que haja melhora na solução;
- depois de realizadas as três diversificações, a Busca Tabu continua a partir da melhor das três soluções diversificadas;
- o algoritmo pára depois de 30, 60 ou 90 iterações sem que haja melhora na solução, após ser realizada a intensificação.

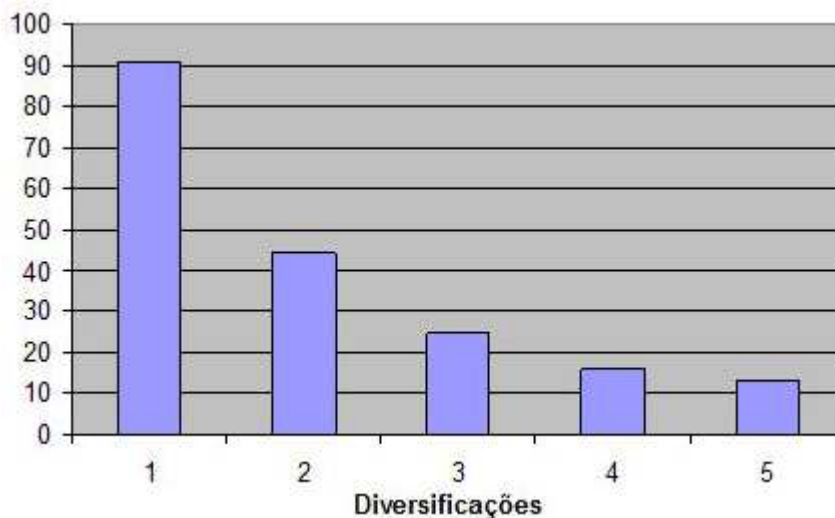


Figura 4 - Número de sucessos da aplicação da reconexão de caminhos em função da diversificação realizada

Tabela 2 - Média das soluções

Instância	Ótimo	30 iterações		60 iterações		90 iterações	
		P1	P2	P1	P2	P1	P2
Pmed29	3033	3035,05	3034,35	3035,1	3033,95	3034,45	3034,25
Pmed30	1989	1991,5	1992,25	1991,3	1990,95	1991,05	1990,35
Pmed33	4700	4701,5	4701,3	4700,75	4700,45	4700,2	4700,45
Pmed34	3013	3014,55	3014,85	3014,35	3014,2	3014,3	3013,85
Pmed37	5057	5058,5	5058	5058,55	5058,3	5058,45	5057,85
Pmed40	5128	5130,6	5130,4	5130,9	5130,25	5130,95	5130,75

Diante dos resultados obtidos, vemos que o Algoritmo P2 obteve, no geral, melhores resultados que o Algoritmo P1, o que demonstra que a implementação da nossa estratégia pode implicar numa melhora significativa da solução.

Como sabemos, vários problemas considerados NP-difíceis têm aplicações práticas em indústrias, por exemplo. E, apesar de observarmos uma “pequena” melhora, podemos obter reduções de custos consideráveis, de acordo com o problema ao qual está sendo aplicado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, vemos que existe uma grande aplicação de metaheurísticas nos problemas que até hoje não se encontraram soluções polinomiais, como os problemas NP-difíceis. A maioria desses problemas têm grande aplicação prática no nosso cotidiano. É por isso que surge a necessidade de criar algoritmos e estratégias que possam encontrar boas soluções num tempo considerável.

Vimos que a estratégia aqui apresentada melhora a performance da metaheurística Busca Tabu usando a Reconexão de Caminhos. E podemos afirmar que a aplicação dessa nova estratégia pode ser bastante promissora. Além disso, a partir dela podemos desenvolver e verificar diversos outros aprimoramentos para torná-la ainda melhor como, por exemplo, verificar a possibilidade de reiniciar a busca, depois de cada diversificação, com a melhor solução obtida entre as melhores dos procedimentos de Reconexão de Caminhos; utilizar

outras estratégias de Reconexão de Caminhos; e, aplicar essa estratégia em outros problemas disponíveis na literatura.

5. REFERÊNCIAS

- [1] GLOVER, F. Tabu search and adaptive memory programming - advances, applications and challenges. In BARR, R. S., HELGASON, R. V., KENNINGTON, J. L. **Interfaces in computer science and operations research**. Kluwer Academic Publishers, 1996. p. 1-75.
- [2] GLOVER, F. **Future paths for integer programming and links to artificial intelligence**. Computers and Operations Research, 1986. n. 13, p. 533-549.
- [3] GLOVER, F., LAGUNA, M. **Tabu Search**. Kluwer: Boston, 1997.
- [4] GENDREAU, M. An introduction to tabu search. In GLOVER, F., KOCHENBERGER, G. **Handbook of metaheuristics**. Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 37-54.
- [5] GENDREAU, M., GLOVER, F., MARTI, R. Scatter Search and Path Relinking: Advances And Applications. In GLOVER, F., KOCHENBERGER, G. **Handbook of metaheuristics**. Kluwer Academic Publishers, 2003. p. 2-36.
- [6] HO, S. C., GENDREAU, M. **Path relinking for the vehicle routing problem**. Journal of Heuristics. Springer: Netherlands, 2006.
- [7] ALOISE, D. J. *et al.* **Using path relinking to improve a tabu search diversification strategy**. In: CLAIO - Congresso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa, 13, 2006, Uruguai. Anais... Montevideo, 2006.
- [8] BEASLEY, J. E. **A note on solving large p-median problems**. European Journal of Operational Research, 1985. vol. 21, p. 270-273.
- [9] HANSEN, P., MLADENOVIC, N. **Variable Neighbourhood Search for the p-median**. Location Science, 1997. n. 5, p. 207-226.
- [10] RESENDE, Mauricio G. C., WERNECK, Renato F. **A Fast Swap-based Local Search Procedure for Location Problems**. Technical Report TD-5R3KBH, AT&T Labs Research, 2003.
- [11] ROLLAND, Erik, SCHILLING, David A., CURRENT, John R. **An efficient tabu search procedure for the p-median problem**. European Journal of Operational Research. 1996. p. 329-342.
- [12] SENNE, Edson L. F., LORENA, Luiz A. N., PEREIRA, Marcos A. **Um algoritmo branch-and-price para problemas de localização de p-medianas**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 35, 2003, Natal. Anais... Natal, 2003.
- [13] SANTOS, Raqueline A. M. **Estudo e desenvolvimento de uma estratégia de diversificação para melhoria de performance da metaheurística Busca Tabu usando Reconexão de Caminhos: estudo de caso no problema de Localização de Facilidades**. Monografia (Conclusão de Curso) – Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.