



SPOLM 2007

ISSN 2175-6295

Rio de Janeiro- Brasil, 08 e 09 novembro de 2007.

## APLICAÇÃO DA METAHEURÍSTICA BUSCA-TABU NA ENGENHARIA DE TRÁFEGO EM REDES IP

**Periceles José Vieira Vianna**

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

vianna\_telecom@yahoo.com.br

**Júlio César Silva Neves**

Centro de Análise de Sistemas Navais (CASNAV)

Praça Barão de Ladário s/n - Ilha das Cobras – Centro - Rio de Janeiro – RJ – Brasil

sneves@ime.eb.br

**Ronaldo Moreira Salles**

Instituto Militar de Engenharia (IME)

Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha – Rio de Janeiro – RJ – Brasil

ronaldo.salles@gmail.com

### Resumo

A Engenharia de Tráfego em Redes Computacionais é uma área de pesquisa da Engenharia voltada para a otimização do desempenho das redes através do uso mais adequado dos recursos dessas redes. Os protocolos de roteamento das redes são mecanismos que atuam na distribuição do tráfego da rede pelos seus vários nós e enlaces. O presente artigo estuda a utilização da metaheurística Busca-Tabu em Engenharia de Tráfego, através da configuração dos pesos dos enlaces de uma rede IP que utilize OSPF como protocolo de roteamento.

**Palavras-Chaves:** Engenharia de Tráfego, OSPF, Busca-Tabu.

### Abstract

Traffic Engineering in Networks is an Engineering Research Field which works with network performance optimization through a better use of the network resources. The network routing protocols are tools used to balance the load of a network. This paper presents Tabu-Search in Traffic Engineering, by correctly setting the weights of the links in OSPF protocol.

**Keywords:** Traffic Engineering, OSPF, Tabu-Search.

## 1. INTRODUÇÃO

A Engenharia de Tráfego em Redes busca a otimização do desempenho

bem como a avaliação da eficiência das redes. As métricas utilizadas para medir a eficiência das redes IP são o atraso “*delay*” na entrega dos pacotes, a banda passante “*throughput*” da rede, a variação do atraso “*jitter*” e a perda de pacotes.

A Engenharia de Tráfego abrange aspectos relacionados ao projeto da infraestrutura das redes, protocolos de roteamento dos pacotes e, também, a gerência das filas de pacotes nos roteadores.

Dentre os aspectos acima relacionados concernentes a Engenharia de Tráfego, este artigo se concentra na questão do roteamento dos pacotes, ou fluxos, em uma rede IP. O correto roteamento dos pacotes, ou fluxos, é primordial no uso mais equilibrado dos recursos da rede, evitando assim que, entre outros efeitos negativos, certos enlaces sejam sobrecarregados devido a baixa, ou nenhuma, utilização de outros enlaces da rede. A sobrecarga dos enlaces gera congestionamentos e, por conseguinte, aumento da perda dos pacotes, diminuição da banda passante e aumento do retardo na entrega dos pacotes.

Os protocolos de roteamento têm como principal finalidade estabelecer tabelas de rotas nos nós, ou roteadores, de forma que seja possível o encaminhamento dos pacotes na rede e a entrega desses pacotes para o destinatário final. Além disso, devem prover a distribuição mais equânime dos fluxos pelos vários enlaces da rede.

O OSPF “*Open Shortest Path First*” é o protocolo de roteamento intradomínio mais utilizado atualmente em redes IP. Trata-se de um “*Link State Protocol*”, isto é, utiliza informações dos estados dos enlaces “*links*” para configurar os pesos dos enlaces. Os pesos são grandezas adimensionais que indicam os custos dos enlaces, segundo parâmetros tais como a capacidade dos enlaces e/ou retardo que agrega na tramitação dos pacotes. É um protocolo dinâmico e adaptativo, uma vez que reconfigura os pesos, ou custos, dos

enlaces conforme a variação na topologia da rede e nos estados dos enlaces.

Após a atribuição e divulgação para os demais nós dos custos dos enlaces, o OSPF utiliza algoritmos como *Dijkstra* para determinação do caminho mais curto entre os nós da rede.

O OSPF, no que diz respeito a distribuição dos fluxos pela rede, apresenta algumas deficiências mostradas no exemplo a seguir. Os custos, neste exemplo, são calculados como o inverso da capacidade do canal, ou do enlace, conforme recomendação da CISCO [3]. Tal recomendação baseia-se no raciocínio de que quanto maior a capacidade do enlace, menor é o custo deste enlace. A capacidade do enlace em Mbits/s está escrita em azul e o custo do enlace está em vermelho.

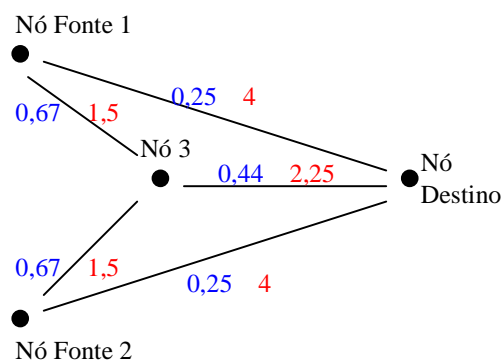
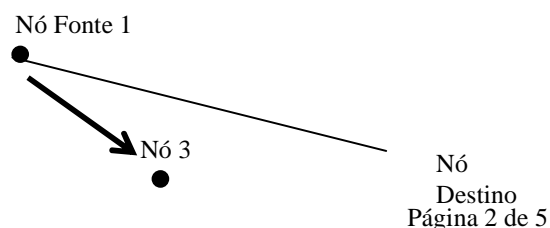


Fig 1: Topologia de uma Rede IP com a Capacidade e Custos dos Enlaces

Considera-se, neste exemplo, que o Nó Fonte 1 e o Nó Fonte 2 geram cada um o tráfego de 0,25 Mbits/s para o Nó Destino. Segundo a RFC 2328 [2], que descreve o protocolo OSPF, os fluxos com origem nos nós Fonte 1 e Fonte 2 para o Nó Destino seguem os seguintes caminhos mais curtos:



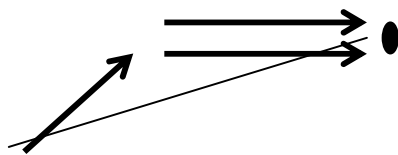


Fig 2: Caminho dos Fluxos

Observa-se, na figura 2, o congestionamento no enlace entre o Nó 3 e o Nó Destino, posto que existe uma carga de 0,5 Mbits/s em um canal que suporta apenas 0,44 Mbits/s. Tal fato deteriora sobremaneira o desempenho da rede em questão.

Uma possível solução para este problema de Engenharia de Tráfego seria reconfigurar o peso do enlace entre o Nó Fonte 1 e o Nó 3 para, por exemplo, 2. Com isto, os fluxos seriam redistribuídos de forma a melhor utilizar os recursos da rede, evitando congestionamento, conforme figura abaixo:

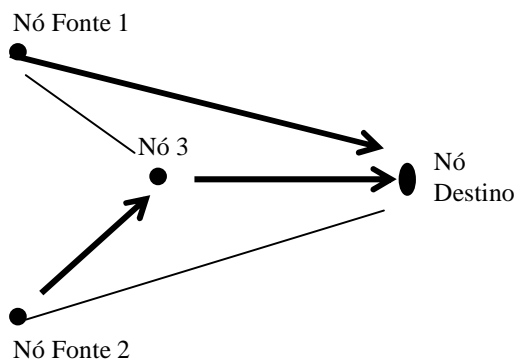


Fig 3: Caminho dos Fluxos com a reconfiguração do peso do enlace Nó Fonte1 para o Nó 3.

Embora o OSPF seja um protocolo largamente empregado em intradomínios nas redes IP, comercialmente emprega-se outro protocolo, o MPLS “Multi-Protocol Label Switching”, para soluções de Engenharia de Tráfego. A utilização do OSPF mostra-se mais vantajosa do que o MPLS. O OSPF é um protocolo extremamente confiável, mais flexível, adapta-se com facilidade às alterações da

rede e é muito menos complexo que o MPLS, uma vez que suas tabelas de roteamento são completamente determinadas pelos pesos dos enlaces.

## 2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Para implementação de Engenharia de Tráfego em Redes IP que utilizem o protocolo OSPF, faz-se necessário configurar adequadamente os pesos dos enlaces, conforme a matriz de tráfego e a topologia particular de cada rede. Este artigo pretende utilizar a metaheurística Busca-Tabu para, evitando as convergências locais, descobrir boas soluções de configuração dos pesos dos enlaces que permitam uma utilização mais equânime dos recursos da rede.

## 3. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA

O problema em questão é combinatório e NP-difícil, conforme [4].

Segundo a literatura, uma primeira abordagem para formalização deste problema apresenta a seguinte função objetivo:  $\text{Min Max}_{(i,j)} \{F_{i,j}/C_{i,j}\}$  onde:

- $i,j$  são nós de um enlace;
- $F_{i,j}$  é o fluxo que atravessa o enlace  $i,j$ ;
- $C_{i,j}$  é a capacidade do enlace  $i,j$ ; e
- $F_{i,j}/C_{i,j}$  é a taxa de utilização do enlace.

Uma segunda abordagem [6] para formalização deste problema apresenta a seguinte função objetivo:  $\text{Min } \sum_{(i,j)} D_{i,j} (F_{i,j})$  onde:

- $D_{i,j}(F_{i,j})$  é o custo associado ao enlace  $(i,j)$ , sendo  $D_{i,j}(F_{i,j}) = F_{i,j} / (C_{i,j} - F_{i,j})$ .

As restrições são:

- ❖  $F_{i,j} = \sum x_p$ . O fluxo total no

enlace  $i,j$  é igual ao somatório de todos os fluxos que atravessam o enlace  $i,j$ ;

❖  $x_p \geq 0$ . O fluxo no caminho  $p$  é sempre maior ou igual a zero.

A equação  $D_{i,j}(F_{i,j}) = F_{i,j} / (C_{i,j} - F_{i,j})$  implica em que quanto mais próximo  $F_{i,j}$  estiver de  $C_{i,j}$ , tanto mais rápido crescerá o custo.

Neste trabalho será utilizada a segunda formulação, pois esta produz um melhor balanceamento da carga na rede.

#### 4. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

A topologia de rede a ser utilizada na avaliação dos cenários será a seguinte:

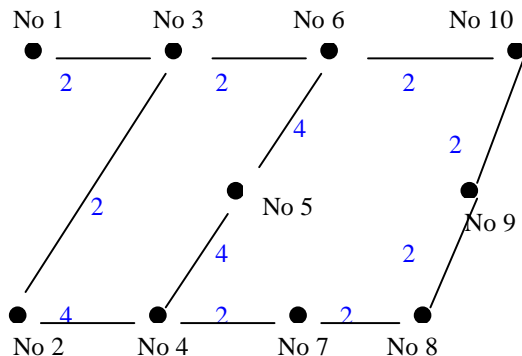


Fig 4: Topologia da rede, com a capacidade dos enlaces em azul (Mbps).

A demanda na rede será:

- No1 => No10 (900Kbps);
- No2 => No10 (900Kbps);
- No2 => No3 (800Kbps);
- No4 => No6 (800Kbps);
- No7 => No9 (100Kbps);
- No6 => No10 (100Kbps).

A ferramenta para simulação dos cenários foi desenvolvida utilizando a linguagem de programação Object Pascal. Estas simulações produzirão resultados para comparar a qualidade das soluções

encontradas a partir do:

1. Uso da Metaheurística Busca-Tabu;
2. Uso da recomendação da CISCO, no qual o peso do enlace é inverso à capacidade do enlace; e
3. Uso dos pesos iguais à distância euclidiana entre os nós.

#### 5. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

##### 5.1 CENÁRIO #1

Utilizou-se neste cenário pesos iguais à distância euclidiana entre os nós. A função objetivo  $\text{Min} \sum_{(i,j)} F_{i,j} / (C_{i,j} - F_{i,j})$  atingiu o valor 19,641.

Os pesos dos enlaces foram todos iguais a 1. Os caminhos mais curtos encontrados foram:

- No1 => No10 (900Kbps);  
Caminho: Nós 1-3-6-10
- No2 => No10 (900Kbps);  
Caminho: Nós 2-3-6-10
- No2 => No3 (800Kbps);  
Caminho: Nós 2-3
- No4 => No6 (800Kbps);  
Caminho: Nós 4-5-6
- No7 => No9 (100Kbps);  
Caminho: Nós 7-8-9
- No6 => No10 (100Kbps).  
Caminho: Nós 6-10

##### 5.2 CENÁRIO #2

Utilizou-se neste cenário a recomendação da CISCO, no qual o peso do enlace é inverso à capacidade deste enlace. A função objetivo  $\text{Min} \sum_{(i,j)} F_{i,j} / (C_{i,j} - F_{i,j})$  atingiu o valor 12,23893.

Os caminhos mais curtos encontrados foram:

- No1 => No10 (900Kbps);  
Caminho: 1-3-6-10

No2 => No10 (900Kbps);  
 Caminho: 2-4-5-6-10  
 No2 => No3 (800Kbps);  
 Caminho: 2-3  
 No4 => No6 (800Kbps);  
 Caminho: 4-5-6  
 No7 => No9 (100Kbps);  
 Caminho: 7-8-9  
 No6 => No10 (100Kbps).  
 Caminho: 6-10

### 5.3 CENÁRIO #3

Utilizou-se neste cenário a Metaheurística Busca-Tabu. A função objetivo  $\text{Min } \sum_{(i,j)} F_{i,j} / (C_{i,j} - F_{i,j})$  atingiu o valor 6,574.

Os pesos dos enlaces foram todos iguais a 1. Os caminhos mais curtos encontrados foram:

No1 => No10 (900Kbps);  
 Caminho: 1-3-6-10  
 No2 => No10 (900Kbps);  
 Caminho: 2-4-7-8-9-10  
 No2 => No3 (800Kbps);  
 Caminho: 2-3  
 No4 => No6 (800Kbps);  
 Caminho: 4-5-6  
 No7 => No9 (100Kbps);  
 Caminho: 7-8-9  
 No6 => No10 (100Kbps).  
 Caminho: 6-10

Observando a função objetivo, verifica-se que o uso da Metaheurística Busca-Tabu apresentou um desempenho muito superior aos dois outros cenários em questão, distribuindo melhor a carga através da rede.

CENÁRIO	#1	#2	#3
$\text{Min } \sum_{(i,j)} F_{i,j} / (C_{i,j} - F_{i,j})$	19,641	12,239	6,574

## 6. CONCLUSÃO

Engenharia de Tráfego em redes de computadores está geralmente relacionada ao emprego do protocolo MPLS. Com este artigo, juntamente com estudos listados na bibliografia, verifica-se que é possível utilizar, com a heurística adequada, o protocolo OSPF em Engenharia de Tráfego. As vantagens do OSPF sobre o MPLS são inúmeras, das quais ressaltamos a simplicidade, confiabilidade e escalabilidade.

O uso da metaheurística Busca Tabu mostrou-se bastante eficiente quando comparada com outros dois métodos para configuração dos pesos dos enlaces. Como trabalho futuro, sugere-se a comparação entre outras metaheurísticas, para ver qual delas melhor atende ao problema em questão.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] RFC 3272, *Overview and Principles of Internet TE*, Maio 2002
- [2] RFC 2328, *OSPF Version 2*, Abril 1998
- [3] CISCO, *Configuring OSPF*.
- [4] WANG, Y.; WANG, Z; *Explicit Routing Algorithms for Internet Traffic Engineering*.
- [5] ROLLA, V.; *Engenharia de Tráfego em Redes IP*.
- [6] BERTSEKAS, D; GALLAGER, R.; *Data Networks*.