

Engenharia de Tráfego entre domínios de redes distintas

Alberto Lotito & Marcelo Luís Francisco Abbade

Abstract—This work shows the development of a strategy for traffic engineering in networks with different domains operating with different protocols. Using the mechanisms here proposed, a Network Management Station (NMS) can perform the entire traffic engineering work and decide the best path to transport data flows between networks of different domains. The proposed method is based on a simulated network which was divided in two domains, one IP and another MPLS, using the NS-2 simulator. The obtained results, based on link and backplane costs occupation penalization, shows that the packet loss can be reduced in up to 50% if compared to a traditional OSPF scheme, and also permits that the network operator visualize the more stable operation conditions to the network.

Index Terms—MPLS, IP, Dijkstra, interwork.

Resumo—Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma estratégia para Engenharia de Tráfego em redes com domínios de diferentes protocolos. Usando os mecanismos aqui propostos o operador de uma estação de gerência de redes (NMS) pode fazer o trabalho de engenharia de tráfego para o transporte de fluxos de dados entre redes de domínios distintos. Para avaliar o desempenho de nossa proposta, simulamos o desempenho de uma rede de 25 nós com dois domínios, um MPLS e outro IP. Nossos resultados, baseados na penalização da ocupação de enlaces e do *backplane* dos roteadores, indicam que a perda de pacotes pode ser reduzida em pelo menos 50% em relação a um roteamento usando OSPF e, também, permitem que o operador visualize condições de operação estável da rede.

Palavras chave—MPLS, ATM, IP, Dijkstra, interwork, traffic engineering.

I. INTRODUÇÃO

A evolução das redes de telecomunicações faz com que surjam freqüentemente novos protocolos de comunicação. As redes evoluíram do X.25 para o *Frame-Relay*, ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e MPLS (*Multiprotocol Label Switching*), transportando IP (*Internet Protocol*), voz e dados. O surgimento de um novo protocolo de comunicações não faz com que os protocolos anteriores sejam descontinuados imediatamente. Ao contrário, por questões técnicas e também de mercado, as redes legadas são mantidas em operação simultânea com as novas redes. De fato, no cenário atual das redes de dados, há uma migração gradual das redes ATM para as redes MPLS que convivem com outras redes IP já

existentes [2]. Por essa razão, as operadoras de telecomunicações precisam trabalhar com redes multi-protocolos e essa situação pode trazer diversas complicações na otimização da distribuição de tráfego.

Nos esquemas de roteamento tradicional, como é o caso do OSPF (*Open Shortest Path First*), são feitas avaliações dos estados dos enlaces e montadas tabelas de roteamento baseadas nesses estados e nos custos dos enlaces [3] usando o algoritmo de Dijkstra [4] para decidir o caminho de menor custo entre os nós da rede. Isso faz com que os fluxos de dados sigam as rotas presentes na memória de cada roteador e que foram aprendidas pelo OSPF.

Alguns trabalhos foram escritos no intuito de fornecer estratégias de roteamento em redes IP, ATM, ou MPLS. Buriol fez um trabalho onde pesos são aplicados aos arcos em Redes OSPF [5]. Conte propôs uma estratégia baseada em Markov para melhorar a distribuição de tráfego em redes ATM contabilizando o número máximo de chamadas bloqueadas na rede [6]. Resende desenvolveu um método de redistribuir tráfego em redes MPLS transportando tráfego IP [7]. Sanchez [8] propõe uma solução de integração entre ATM e MPLS na qual a rede toda é vista como se fosse uma rede MPLS única.

Alguns desses trabalhos focam na redistribuição do tráfego, outros em modificações no protocolo de roteamento e um ponto em comum entre todos eles é o fato de terem sido desenvolvidos para uma rede única, IP, ATM ou MPLS, sem levar em consideração o possível convívio entre essas redes, que é o caso de uma empresa operadora de telecomunicações migrando gradativamente de uma rede para outra e fazendo *interwork* entre elas. O MFA-Forum publicou em setembro de 2007 uma recomendação para roteamento entre redes ATM e MPLS usando PNNI (*Private Network to Network Interface*) [9], segundo a qual, conexões dinâmicas iniciando no domínio ATM da rede podem ter seus pontos de terminação do lado MPLS.

Nosso trabalho é uma proposta para facilitar o trabalho das operadoras e melhorar o desempenho das redes operando com redes heterogêneas. Seguimos a proposta realizada em [10] e mostramos uma nova estratégia na manipulação de custos de enlaces e cálculo do melhor caminho para estabelecimento de tráfego entre dois pontos, realizando um complexo trabalho de engenharia de tráfego. Além de ser aplicado a redes de protocolos distintos, fazendo com que haja um melhor aproveitamento dos recursos da rede como um todo e reduzindo a perda de pacotes da rede. Fornecemos uma receita para que o operador possa manipular a distribuição de tráfego

Marcelo Luís Francisco Abbade trabalha na Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), onde implantou os laboratórios de Meios de Transmissão (2003) e de Tecnologias Fotônicas (2006) e desenvolve pesquisa nas áreas de Redes Ópticas e Internet Avançada, abbade@puc-campinas.edu.br.

Alberto Lotito trabalha na Alcatel-Lucent – São Paulo - SP - Brasil , lotitoa@alcatel-lucent.com.

e melhorar o uso da rede.

A fim de testar nossa estratégia usamos o simulador de redes NS-2 (*Network Simulator 2*) [11]. Usamos dois domínios na rede proposta, um IP e outro MPLS. Estabelecemos conexões por onde passarão fluxos de dados, usando nosso algoritmo para fazer a engenharia de tráfego e comparamos os resultados com a mesma rede trabalhando com OSPF.

A organização deste artigo está descrita a seguir. A seção II aborda as tecnologias de *backbone*, técnicas de roteamento e interoperabilidade entre tecnologias. A seção III descreve a engenharia de tráfego entre domínios distintos. Na seção IV temos a descrição da topologia usada. A seção V explica o tráfego gerado nas simulações. Na seção VI discutimos a tabela de custos usada e sua atualização. Na seção VII mostramos os resultados obtidos. E finalmente a seção VIII mostra a conclusão e sugestões para trabalhos futuros.

II. TECNOLOGIAS DE *BACKBONE*, ROTEAMENTO E INTEROPERABILIDADE

Atualmente há diversas opções de tecnologias para núcleo de redes, como IP, ATM e MPLS.

A rede MPLS trabalha com o conceito de rótulos e é usada em redes LAN (*Local Area Network*) e WAN (*Wide Area Network*), especialmente no núcleo (*backbone*) dessas redes. Cada roteador MPLS tem que se preocupar em encaminhar os *frames* de acordo com uma tabela de rótulos em seu banco de dados [12]. Os rótulos são distribuídos entre roteadores usando um protocolo chamado LDP (*Layer Distribution Protocol*).

Redes **mistas usando** MPLS e IP é a interoperabilidade mais comum atualmente em uso nas redes de dados. Suas áreas se comunicam, podendo estabelecer vizinhanças entre seus protocolos IGP. Dessa forma, tanto os roteadores da área MPLS quanto os roteadores das áreas IP podem trocar dados sobre a topologia uns dos outros. Dentro do domínio MPLS pode-se então estabelecer túneis a fim de transportar os *frames* entre um nó de ingresso e outro de egresso, enquanto que, **ao sair do domínio MPLS** os pacotes são roteados na rede IP [13].

Em redes IP operando com roteamento dinâmico, é utilizado um protocolo IGP, que pode ser RIP, OSPF, IS-IS e outros. Tanto IS-IS quanto OSPF [15] são protocolos do tipo *link-state*, ou seja, montam suas tabelas de roteamento, levando em consideração o custo e o estado dos enlaces entre os nós da rede. As tabelas dos protocolos IGP podem ser difundidas dentro do domínio IP e também dentro do domínio MPLS, de forma que os roteadores das duas redes operem como áreas conectadas.

Ao usar túneis na rede MPLS, a tabela de rotas presente no equipamento de ingresso terá uma referência ao destino com apenas um salto, mesmo que o túnel esteja passando por mais de um roteador, já que os *frames* serão encaminhados na rede MPLS de acordo com seus rótulos.

É importante observar que, no caso do uso de túneis, os

pontos de tradução da rede são fixos, criados pelo operador da rede, e não podem trocar de roteador, mesmo que o caminho usado pelo túnel e os nós que passem pelo caminho estejam saturados. Ao ingressar na rede puramente IP, os fluxos de dados seguirão os caminhos decididos pelos critérios do **OSPF**.

Entre redes MPLS e ATM, até muito pouco tempo atrás, não havia nenhuma estratégia para difundir rotas entre seus domínios.

III. ENGENHARIA DE TRÁFEGO INTER-DOMÍNIO

Nas redes MPLS, seus túneis são estabelecidos entre um ponto de ingresso e outro de egresso, fixos. No caso das redes IP, a dinâmica da criação de tabelas fica por conta de um protocolo IGP, como o OSPF. Estratégias de engenharia de tráfego de cada protocolo ficam restritas a seus domínios e não são propagadas de uma rede para outra.

Ao criar as conexões entre redes de tecnologias distintas, um operador acaba tendo que decidir por critérios próprios como será a distribuição dessas conexões, não existindo nenhuma tecnologia que decida automaticamente, levando em conta as redes como um todo, como é o caso das redes MPLS interoperando com ATM.

Em nossa proposta, quando um cliente requisita dados a um servidor enviando uma requisição à estação de gerência, esta calcula o menor caminho para esse fluxo sobre uma tabela que representa a topologia da rede e que tem seus custos atualizados dinamicamente. A tabela representa a rede como um todo, considerando as diversas tecnologias de *backbone*, porém representando a rede como se fosse uma só.

Usamos uma matriz representando os enlaces do núcleo da rede a fim de manter atualizada uma tabela de custos sobre a qual é calculado o melhor caminho para se estabelecer um tráfego entre um cliente e um servidor.

Trabalhamos basicamente com duas tabelas, uma serve de referência e mantém o custo dos enlaces vazios $V(i,j)$ e outra, com o custo atualizado $C(i,j)$ por uma função W , sendo i e j os dois nós interligados pelo enlace em questão. Essa função é representada por:

$$C_{(i)}(i, j) = wV(i, j) \quad (1).$$

Para enlaces cujos nós não têm interligação entre si colocamos seu custo em infinito.

A função W computa o peso aplicado ao custo de um enlace e pode ser representada por:

$$w = 1 + \alpha f_1 + \beta f_2 \quad (2)$$

Onde f_1 representa a ocupação de um enlace e f_2 representa a ocupação de um *backplane*. As variáveis α e β são parâmetros de ajuste a serem usadas pelo operador da rede.

A ocupação do enlace é representada por:

$$f_1 = \frac{V_{io}}{V_i} \quad (3).$$

onde V_i é a **velocidade do enlace** e V_{io} é a taxa de ocupação do enlace durante o intervalo de medida.

Já o parâmetro f_2 representa a ocupação do *backplane*

penalizando a ocupação dos enlaces do roteador em questão, e é representada por:

$$f_2 = \left(1 + \left(\frac{V_{po}}{V_p} \right) \right) \frac{V_{lo}}{V_l} \quad (4).$$

Onde V_p é a capacidade de *backplane* do roteador em questão e V_{po} é a taxa de ocupação do *backplane* desse roteador.

Realizamos a medida de atualização da ocupação dos enlaces em intervalos de 100 ms. Escolhemos esse período por ser aproximadamente dez vezes o período que um frame de 1500 bytes **leva para ser transmitido nos enlaces usados de 1 Mbps**. Dessa forma, diminuímos a possibilidade de erros caso estivéssemos com um período de medida muito curto.

Executamos o programa diversas vezes variando α e β e coletando os resultados. Primeiro fixamos α em 0 e variamos β de 1 a 10. Em seguida fixamos β em 0 e variamos α de 1 a 10. Por fim executamos todas as combinações de α e β , inteiros de 1 a 10.

Uma vez encontrado o melhor caminho fim a fim dentro do núcleo da rede executamos uma sub-rotina que tem como função identificar quais os roteadores que são MPLS e quais são IP. Nos roteadores que são MPLS identificamos o primeiro e o último roteador, pois o primeiro será o nó de ingresso e o último será o nó de egresso. O último roteador da rede MPLS, para o caminho escolhido, tem também uma função especial, pois ele é o *gateway* da rede MPLS para a rede IP, e deve, portanto, receber uma rota estática em sua tabela de rotas, apontando especificamente para o nó de rede cliente, que receberá o tráfego do servidor associado a esse caminho. Sem essa rota, todo o tráfego que se destina ao cliente proposto seguiria os caminhos estabelecidos pelo IGP dentro da rede IP, e não seguiria, portanto, o caminho estabelecido pelo nosso algoritmo. Por fim, identificamos os roteadores pertencentes ao caminho da rede IP e criamos uma rota estática em cada roteador apontando especificamente para o próximo roteador do caminho encontrado e com destino o nó cliente desse tráfego. Dessa forma, criamos todo o caminho dentro da rede IP como se fosse um túnel ATM. Por fim, está criado todo o caminho encontrado pelo algoritmo e o tráfego seguirá esse caminho, primeiro passando pelo túnel MPLS seguindo o caminho explícito e em seguida pelos roteadores IP seguindo as rotas estáticas criadas pelo nosso programa.

IV. SIMULAÇÕES

A topologia usada para o desenvolvimento de nosso trabalho é a *Manhattan Street*, dividida em dois domínios, um MPLS e outro IP simulando uma rede ATM.

A rede *Manhattan Street* é composta de uma malha bidimensional com quatro enlaces em cada nó. Todos os enlaces têm enlaces paralelos, por isso o nome *Manhattan Street*, como as ruas de *Manhattan*. A Figura 1 mostra a rede completa, o núcleo da rede, representado pelos roteadores de

número 1 a 25 é uma rede *Manhattan Street* com cinco nós de largura e um total de vinte e cinco nós. Todos os enlaces interligando esses nós são paralelos.

A rede que usamos para nossos ensaios foi dividida em dois domínios, um MPLS e outro IP. Na Figura 1 o núcleo da rede é representado pelos nós numerados de 1 a 25. Os nós numerados de 1 a 10 são nós da rede MPLS, enquanto os nós numerados de 16 a 25 são nós da rede IP e os nós numerados de 11 a 15 são os *gateways* entre as duas redes.

É a esse núcleo que iremos conectar os servidores e os clientes que vão gerar o tráfego que ocupará o núcleo.

Nosso trabalho consiste em fazer a engenharia de tráfego fim a fim, desde a entrada, pela rede MPLS até a saída na rede IP, distribuindo o tráfego nas duas redes como se fosse uma só rede e dessa forma minimizando a perda de pacotes total.

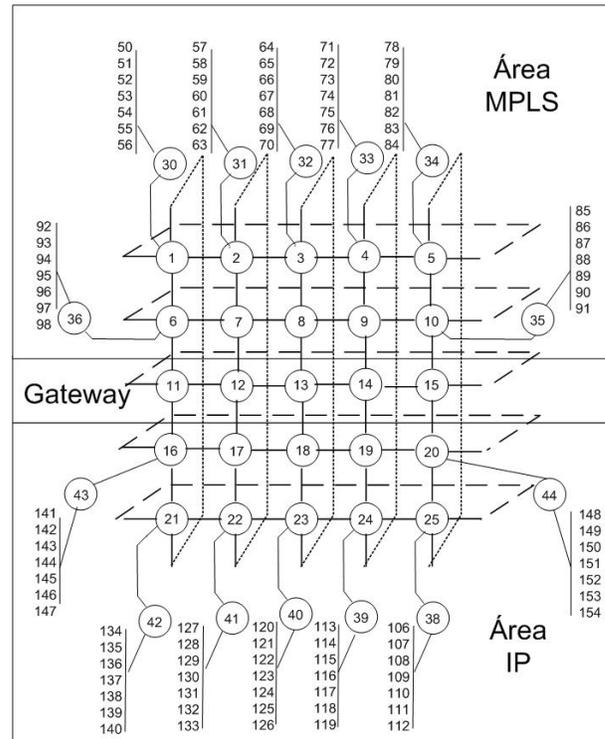


Figura 1. Diferentes domínios da rede proposta

Os nós de número 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 10 receberão um quinto enlace que os conecta aos chamados nós de concentração, numerados de 30 a 36. A esses nós de concentração ligamos os servidores, que estão numerados de 50 a 98.

Os nós de número 16, 20, 21, 22, 23, 24 e 25 também são ligados a nós de concentração, numerados de 37 a 44, através de um quinto enlace. A esses nós de concentração ligamos os clientes, numerados de 106 a 154.

Foram feitas simulações com outros arranjos de servidores e clientes e os resultados foram similares.

Para a execução de nossos trabalhos adotamos tráfego UDP do tipo *unicast* e com taxas constantes. Dessa forma simulamos um tipo de aplicação semelhante a tráfego de Vídeo Sob Demanda onde os clientes selecionam e assistem a um vídeo armazenado em servidores, ou seja, a estrutura

simula o funcionamento de locadoras virtuais. Essa aplicação se mostra interessante para nossa proposta, pois cada tráfego tem um destino específico e, portanto, pode seguir rotas específicas dentro do domínio IP de nossa rede.

Esse tipo de tráfego se distingue do tráfego de IPTV via Internet, pois não caracteriza vídeo ao vivo, que trafega normalmente sobre tráfego *Multicast*.

Os enlaces entre os nós do núcleo da rede têm velocidade de 1 Mbps, enquanto que os enlaces entre os nós de concentração e o núcleo têm velocidade de 10 Mbps. O tráfego gerado foi de 300 kbps entre cada servidor e seu cliente correspondente. Temos sete servidores ou clientes conectados a cada nó de concentração, dessa forma cada um passará um tráfego máximo de 2,1 Mbps ao núcleo da rede. Esse tráfego supera a capacidade de um enlace do núcleo, gerando proposadamente perda de pacotes ao seguir um caminho único como no caso do OSPF. Cada tráfego de cada servidor é iniciado em intervalos de 1 segundo, começando pelo servidor de número 50 até que o último servidor da rede, de número 98, ao período de 48 segundos, inicie a transmissão para o cliente de número 154. Aos 60 segundos de simulação interrompemos o tráfego do servidor 50 e sucessivamente interrompemos o tráfego de cada servidor também em intervalos de 1 segundo.

V. RESULTADOS

Para a análise do desempenho da rede coletamos dados referentes ao tráfego gerado e recebido, tais como, número de pacotes recebidos, número de pacotes descartados e total de pacotes gerados.

A. Número de pacotes descartados

Em cada cliente coletamos o número de pacotes descartados e contabilizamos o total de todos os nós a cada ciclo do programa de 0,5s.

A Figura 2 mostra os resultados obtidos com α igual a zero e para diferentes valores de β comparados ao OSPF, na qual observamos que a perda de pacotes absoluta caiu de aproximadamente 160.000 pacotes com o OSPF para 80.000 pacotes com $\beta = 10$.

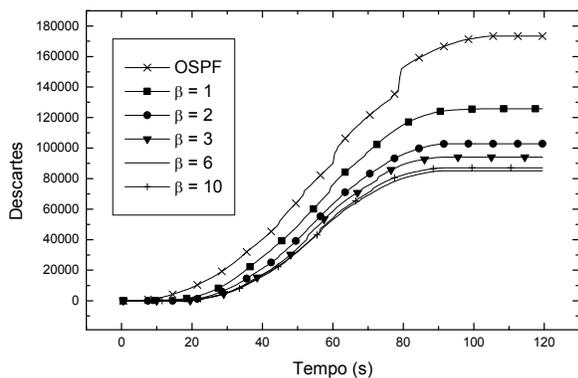


Figura 2 – Número absoluto de descartes x tempo. $\alpha = 0$.

A Figura 3 mostra os resultados obtidos com β igual a zero e para diferentes valores de α comparados ao OSPF, sendo que o número de descartes caiu para aproximadamente 85.000, um resultado aproximadamente 5% pior se comparado à Figura 2. Observamos que houve um valor mínimo de descartes para α igual a 6, isso se deve ao fato de que com valores maiores de α a distribuição é maior e as conexões iniciais tendem a ocupar áreas mais distribuídas da rede, o que acaba causando mais perdas de pacotes para as conexões posteriores, por já encontrarem segmentos da rede ocupados.

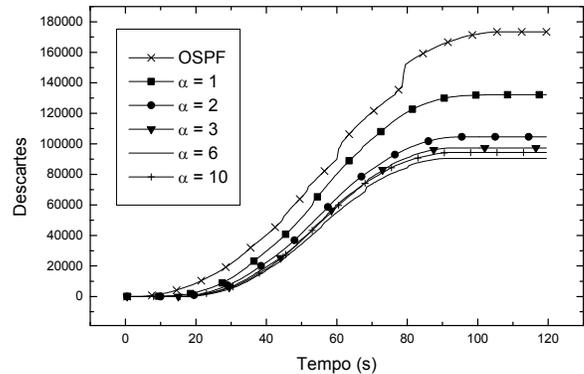


Figura 3 – Número absoluto de descartes x tempo. $\beta = 0$.

B. Número de pacotes recebidos

É o número de pacotes que efetivamente atingem seu destino. Contabilizamos o número total de pacotes recebidos em todos os nós da rede e a cada 0,5s. Na Figura 4 pode-se observar o número absoluto de pacotes recebidos em função do tempo para o OSPF e diferentes valores de α . Pode-se observar que para o OSPF recebeu-se cerca de 120.000 pacotes, enquanto que com $\alpha = 10$ esse número foi de 200.000 pacotes, uma melhora de aproximadamente 67%.

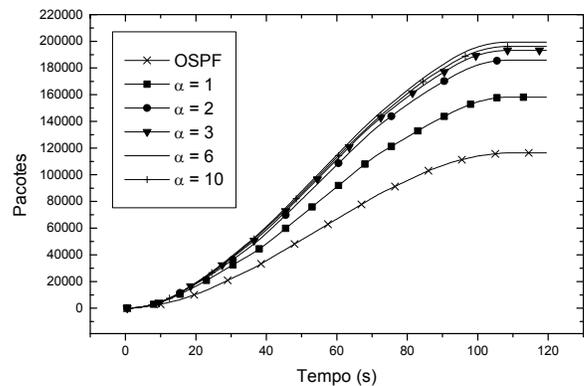


Figura 4 – Pacotes recebidos x tempo. $\beta=0$.

A Figura 5 mostra o número absoluto de pacotes em função do tempo para OSPF e diferentes valores de β . O número de

pacotes recebidos foi de aproximadamente 200.000 pacotes com $\beta = 10$.

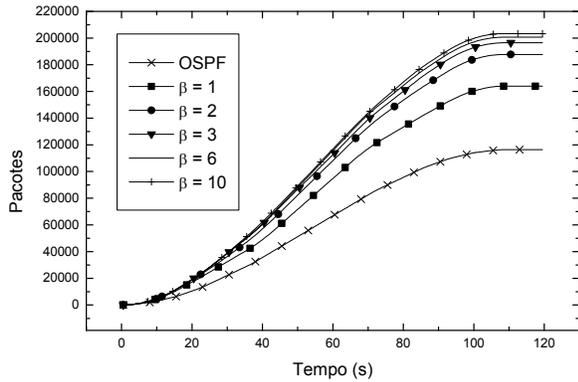


Figura 5 – Pacotes recebidos x tempo. $\alpha = 0$.

C. Percentual de pacotes descartados

Em cada nó computamos o número de pacotes descartados e contabilizamos o total de todos os nós a cada ciclo do programa de 0,5s.

As Figuras 6 e 7 representam a perda percentual de pacotes para α igual a zero e dez respectivamente e diferentes valores de β , sendo que β igual a zero representa os valores obtidos com OSPF. Pode-se notar nessas figuras que com combinações maiores de α e β , o comportamento da rede é mais estável, ou seja, conseguiu-se diminuir o percentual de perda de pacotes numa faixa ampla de valores de β .

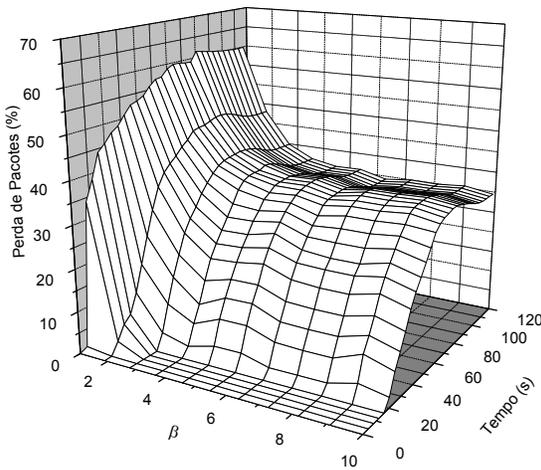


Figura 6 – Percentual de pacotes perdidos para $\alpha = 0$ e diferentes valores de β

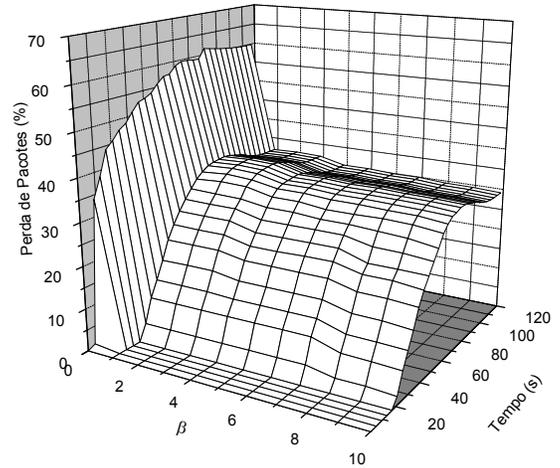


Figura 7 – Percentual de perda de pacotes para $\alpha = 10$ e diferentes valores de β

D. α e β combinados

A fim de confrontar os valores de α e β , executamos o programa com todas as combinações de α e β inteiros de 0 a 10.

A Figura 8 mostra um gráfico de percentual de perda de pacotes em função de α e β para o momento de 49 segundos, que é o momento de maior perda observada no OSPF. Nele podemos observar a perda de pacotes para OSPF de aproximadamente 60% (ponto 0 x 0), e uma queda substancial usando o algoritmo proposto, sendo que o percentual de descartes praticamente se estabiliza para combinações grandes de α e β . Nessa mesma figura podemos observar um quadrado delineado por α igual a cinco com β igual a cinco até α e β igual a 10 onde a variação do percentual de pacotes perdidos é muito pequena, ou seja, é a área mais estável da rede, e onde sugerimos que o operador da rede deva situar seus parâmetros de α e β .

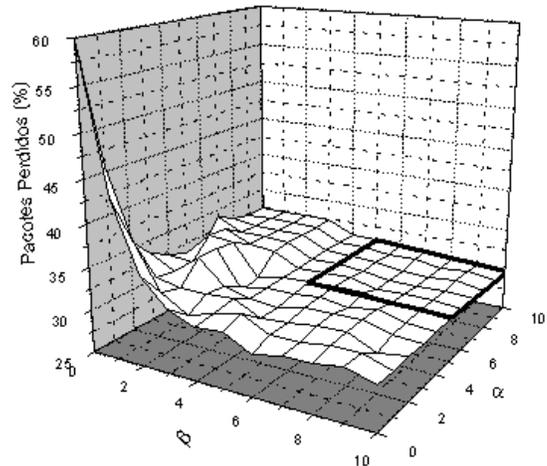


Figura 8 – Pacotes Perdidos (%) x α x β

VI. CONCLUSÕES

Conseguimos com nosso trabalho executar a engenharia de tráfego em redes de domínios de protocolos distintos, oferecendo ao operador da rede parâmetros para ajuste e situando esses parâmetros. Reduzimos o percentual de descartes de pacotes em até 50% se compararmos com uma rede usando OSPF.

Sugerimos como extensão deste trabalho que se façam simulações com outros tipos de tráfego como, por exemplo, VBR ou UBR, com volumes de tráfego variáveis, caracterizando tráfego de Internet. Outra sugestão é que se façam testes com tráfego do tipo *multicast*, que requer associação do cliente com os roteadores por onde passa um fluxo *multicast*, esse tipo de tráfego tem aplicação direta às redes de distribuição de IPTV, que diferem das aplicações de vídeo sob demanda. Outro tipo de trabalho similar ao que desenvolvemos aqui pode ser feito em uma rede com protocolos MPLS e ATM, sendo que dentro da rede MPLS o tráfego deve seguir por túneis explícitos e dentro da rede ATM o tráfego deve seguir por VCCs determinando o VPI e VCI em cada *switch* ATM do caminho, fazendo tradução de IP para ATM no *switch* de entrada da rede ATM e ATM para IP no *switch* de saída.

REFERÊNCIAS

- [1] McDysan D.; Spohn D., *ATM Theory and Applications*, NY, McGraw Hill, 2000.
- [2] Osborne, Eric, *Traffic Engineering with OSPF*, CiscoPress, IN, 2003.
- [3] Thomas II, Thomas M. *OSPF Networks Design Solutions*, Indianapolis, IN, Cisco Press, 1998.
- [4] Dijkstra, E. W. *A Note on Two Problems in Connexion with Graphs*, Numerische Mathematik, 1959. pp 269-271
- [5] Buriol, Luciana Salet. *Roteamento do tráfego na internet: algoritmos para projeto e operação de redes com protocolo OSPF*, Unicamp, Campinas, SP, 2003.
- [6] Conte, Marco, *Dynamic Routing In Broadband Networks*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2003.
- [7] Resende, R. A. *et al*, *A New adaptive Traffic Shortest Path Routing for IP Architecture*, Innsbruck, Applied Informatics, 2002.
- [8] Sanches-Lopez, S. *et al*, A path establishment approach in an MPLS-ATM integrated environment, Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM '01. IEEE, San Antonio, TX, USA, nov 2001.
- [9] MFA-Forum, MFA-18.0.0 Soft Permanent Virtual Circuit Interworking between MPLS Pseudowires and ATM,
- [10] Lotito, A. *et al*, *A new approach on using Dijkstra algorithm in multiple protocols networks*, IWT-2007 *International Workshop on Telecommunications*, Inatel, Santa Rita do Sapucaí, Minas Gerais, Brasil, fev 2007.
- [11] *Network Simulator 2 NS-2*, Information Sciences Institute, University of Southern California, California. 2007. Disponível: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [12] Black, Uyless, *MPLS and Label Switching Networks 2nd ed.*, Prentice Hall, Upper Sadle River, New Jersey, 2002.
- [13] Ivan Pepelnjak, Jim Guichard, *MPLS and VPN Architectures*. Indianapolis, IN, Cisco Press, 2002, pp. 103-110.
- [14] ATM Forum, *ATM-MPLS Network Interworking, Version 2.0*, af-aic-0178-001, 2003.
- [15] Black, Uyless, *IP Routing Protocols*, Prentice Hall, Upper Sadle River, New Jersey, 2002.
- [16] Othmar Kyas, Gregam Crawford, *ATM Networks*. NJ, Prentice Hall, 2002.



Alberto Lotito nasceu em São Paulo em 27 de dezembro de 1965 e é graduado em Administração de Empresas com ênfase em Análise de Sistemas pelas Faculdades Associadas de São Paulo FASP (1994), fez curso técnico em Telecomunicações pela Escola Técnica Federal de São Paulo (1984) e cursa Mestrado em Engenharia Elétrica pela PUC de Campinas.

Trabalha atualmente na Alcatel-Lucent em São Paulo como Consultor de Redes de Dados. Trabalhou também em empresas como a Elucid, Comandata Teleinformática onde desenvolveu um multiplexador de dados, Banco do Estado de Santa Catarina, JVR e Embratel. Em 2005 escreveu o livro “Tecnologias de Acesso à Internet” em co-autoria com Gustavo de Carvalho, pela Novatec Editora.



Marcelo Luís Francisco Abade nasceu em 01 de maio de 1971. Possui graduação (1993) e mestrado (1996) em Física pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e doutorado em Engenharia Elétrica pela mesma Universidade (2001). Desde 1998 dedica-se ao estudo e à aplicação de efeitos não-lineares a dispositivos fotônicos. Em 2001, trabalhou na Fundação CPqD onde participou ativamente da implementação do primeiro test-bed brasileiro de redes totalmente ópticas em convênio com a Ericsson. Desde

2002 trabalha na Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas), onde implantou os laboratórios de Meios de Transmissão (2003) e de Tecnologias Fotônicas (2006) e desenvolve pesquisa nas áreas de Redes Ópticas e Internet Avançada.