

Um Estudo Sobre a Obtenção de QoS Fim-a-Fim para Aplicações Multimídia em Redes IP com DiffServ e Engenharia de Tráfego MPLS

Antonio Carlos de Oliveira Júnior e Paulo Roberto Guardieiro

Resumo—O modelo de Serviços Diferenciados com Engenharia de Tráfego pode fornecer uma arquitetura apropriada para assegurar garantias de QoS. Por meio de modelagem e simulação demonstra-se, neste trabalho, que a combinação MPLS provendo Engenharia de Tráfego com DiffServ garante os limites requeridos pelas aplicações multimídia para seus parâmetros de QoS.

Palavras-Chave—Qualidade de Serviço, DiffServ, MPLS, Engenharia de Tráfego.

Abstract—The Differentiated Services model with Traffic Engineering can provide a suitable architecture for ensuring QoS guarantees. This work proposes to show through modeling and simulation, that MPLS providing Traffic Engineering combined with the DiffServ mechanism can guarantee the required limits of the multimedia applications QoS parameters.

Index Terms—Quality of Service, DiffServ, MPLS, Traffic Engineering.

I. INTRODUÇÃO

O surgimento de novas aplicações na Internet, tais como o ensino a distância, vídeo-conferência, etc, impõe a necessidade de garantias de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*). Tais aplicações exigem limites no atraso, *jitter* e requerem também justiça no compartilhamento de banda passante.

A Internet opera atualmente segundo o princípio denominado “melhor esforço” (*Best Effort* - BE), onde cada usuário da rede envia seus dados e compartilha a largura de banda com todos os fluxos de dados dos outros usuários. Esses fluxos procuram a melhor forma possível para alcançar seu destino, de acordo com as rotas existentes e a largura de banda disponíveis.

Com o crescimento de novas aplicações multimídia e tempo real, com requisitos diferentes das aplicações tradicionais e rígidos em relação aos parâmetros de QoS, sinaliza-se a necessidade de serviços adicionais a serem oferecidos pela Internet.

Diante disso, é indispensável oferecer maior garantia e confiabilidade nas aplicações para Internet sensíveis à QoS. Tais aplicações passam a ter maior prioridade, enquanto que usuários de aplicações tradicionais continuam utilizando o serviço de melhor esforço. Assim, em caso de congestionamento, os pacotes de melhor esforço serão descartados prioritariamente. Sendo possível vender novos serviços de acordo com a largura de banda que se possa ou deseja contratar, fazendo com que se defina, assim, uma nova forma de comércio na Internet.

Várias pesquisas estão sendo desenvolvidas para que seja possível implementar QoS na Internet. Tem-se a arquitetura de Serviços Diferenciados (*Differentiated Services* - DiffServ) [1], a Engenharia de Tráfego (*Traffic Engineering* - TE) [2], e o encaminhamento baseado em rótulos (*Multiprotocol Label Switching* - MPLS) [3].

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta a Arquitetura de Serviços Diferenciados. Na Seção 3 discute-se a tecnologia MPLS e a Engenharia de Tráfego. Na Seção 4 é apresentada a integração MPLS e DiffServ. A Seção 5 apresenta o modelo de simulação utilizado e a Seção 6 os resultados obtidos. Por fim, as conclusões deste trabalho são apresentadas na Seção 7.

II. SERVIÇOS DIFERENCIADOS

A arquitetura DiffServ [1] busca oferecer um tratamento diferenciado aos diversos fluxos na Internet, através de classes de serviços, de acordo com as necessidades de largura de banda, limite de atraso, *jitter* e perda de pacotes. Este tratamento diferenciado é oferecido no interior de um domínio DiffServ.

A identificação das agregações de fluxos no interior de um domínio DS é feita através da marcação de um novo campo denominado DS (*Differentiated Services*) no cabeçalho de cada pacote IP [4]. Seis bits do campo DS formam o subcampo DSCP (*Differentiated Services Code Point*) que identifica a agregação de fluxos. Em cada roteador compatível com a proposta DiffServ, o código (*codepoint*) contido no

subcampo DSCP é mapeado em um Comportamento por Nó (*Per-Hop Behavior - PHB*) que define o tratamento a ser recebido pelo pacote naquele roteador para o seu encaminhamento na rede.

A política de condicionamento de tráfego integra o Acordo de Condicionamento de Tráfego (*Traffic Conditioning Agreement - TCA*) junto com as regras de classificação adotadas pelo domínio DiffServ. O TCA também estabelece o perfil de tráfego contratado, que especifica as características do tráfego selecionado pelo classificador para compor uma agregação de fluxos.

Um serviço contratado entre um cliente e um provedor de serviços ou entre domínios DiffServ diferentes, deve estar estabelecido em um Acordo de Nível de Serviço (*Service Level Agreement - SLA*). O SLA especifica os detalhes do TCA e define o conjunto de critérios necessários a serem utilizados para validar o recebimento do serviço contratado.

Existem várias propostas para a padronização dos serviços diferenciados. Uma destas propostas sugere a utilização de dois tipos de serviços, além do serviço BE já existente. Estes são os serviços de Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding - EF*) [5] e de Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding - AF*) [6]. O serviço EF pode ser usado para o transporte fim a fim, através de um domínio DiffServ, com baixa perda, baixo retardo, baixo *jitter* e largura de banda assegurada. Em uma agregação AF não existem requisitos quantitativos de atraso e *jitter* em relação ao encaminhamento de pacotes. Na realidade, este tipo de serviço, ao invés de fornecer uma garantia estrita, fornece uma expectativa de serviço que será obtida por um determinado tráfego quando existem momentos de congestionamento.

III. MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)

Multiprotocol Label Switching [3] é um protocolo de comutação de rótulos que trabalha no nível de rede. É um modelo proposto pelo IETF, projetado para rodar somente nos roteadores (formando uma sub-rede transparente para o resto da rede). Sua proposta é melhorar o tráfego nas redes, principalmente na Internet, utilizando uma solução elegante, relativamente simples e que possa também aproveitar e integrar-se com tecnologias já existentes como por exemplo ATM, Frame Relay, Ethernet, OSPF, BGP ou RSVP, aproveitando as melhores características de cada uma delas.

O MPLS provê meios para separar o roteamento da transmissão dos dados em redes IP. Os roteadores que ficam na borda (*Label Edge Routers - LER*) da sub-rede MPLS, recebem os pacotes de redes convencionais e adicionam-lhes rótulos (ou então os retiram, se os pacotes estiverem saindo do domínio MPLS). Os rótulos indicarão o caminho a ser seguido, dispensando o roteamento para cada pacote nos roteadores internos à rede (*Label Switching Routers - LSR*), pois este caminho é pré-estabelecido. Estes roteadores internos realizam a “troca de rótulos” (*Label Switching*), ou seja, verificam o rótulo do pacote no momento da chegada e o substitui por outro, encaminhando-o para seu destino. Essa substituição é realizada pela busca exata em uma tabela de rótulos, que são pequenos e de tamanho fixo. Os caminhos

(*Label Switched Paths - LSPs*) são estabelecidos apenas uma vez, a não ser que ocorram imprevistos ou por alguma necessidade do próprio protocolo de distribuição de rótulos (*Label Distribution Protocol - LDP*). O estabelecimento se dá pela troca de informações entre os LSRs e LERs e são realizados antes do início do tráfego de pacotes. Esses pacotes são ainda agrupados em classes de encaminhamento equivalentes (*Forwarding Equivalence Classes - FECs*), que devem receber o mesmo tratamento.

A. Rótulo MPLS

O rótulo é um identificador fixo de 20 bits que pode ser inserido no pacote entre os cabeçalhos dos níveis 2 e 3 ou pode ser encapsulado no nível 2 como nos campos VPI e/ou VCI nas redes ATM, ou no campo DLCI das redes *Frame Relay*. A Figura 1 ilustra o formato do rótulo MPLS.

O campo rótulo tem 20 bits e transporta o valor real do rótulo MPLS. O EXP ou campo experimental composto de 3 bits, o campo S de 1 bit tem por objetivo indicar se o rótulo é o último de uma pilha de rótulos (*label stack*). Por fim, o campo TTL (*Time to Live*) de 8 bits fornece uma funcionalidade convencional IP-TTL.

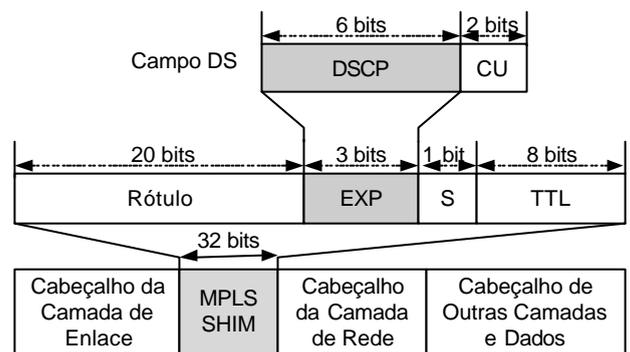


Fig. 1. Campos EXP e DSCP.

B. MPLS como Mecanismo para Engenharia de Tráfego

A Engenharia de Tráfego ou *Traffic Engineering* (TE) pode ser definida como sendo a tarefa de realizar o mapeamento de fluxos de tráfego em uma infra-estrutura física de transporte de modo a atender critérios definidos pela operação da rede [2], [13].

A engenharia de tráfego destaca-se pela possibilidade de balancear o tráfego de modo a ocupar os vários enlaces e elementos de rede de forma otimizada, buscando utilizar os recursos da rede eficientemente, para que não ocorra a super ou sub-utilização destes componentes.

Um tronco de tráfego é uma agregação de fluxos de tráfego de mesma classe, a qual é inserida dentro de um LSP. Por isso, todos os pacotes sob um tronco de tráfego tem o mesmo rótulo e os mesmos 3 bits do campo EXP no cabeçalho MPLS. Estes troncos podem ser estabelecidos ou estatisticamente ou dinamicamente entre quaisquer dois nós em um domínio MPLS. A engenharia de tráfego MPLS interessa em mapear os

troncos de tráfegos dentro de enlaces físicos através dos LSPs.

IV. INTEGRAÇÃO MPLS E DIFFSERV

Diante da complexidade da Internet, que é formada por vários Sistemas Autônomos (*Autonomous Systems - ASs*), uma malha complexa de enlaces e roteadores é formada. Diante disso a arquitetura DiffServ sendo implementada em cada AS, provê atualmente a melhor forma de provisão de QoS fim a fim na Internet [16]. A arquitetura DiffServ utiliza algoritmos de roteamento IP convencionais, ou seja, o menor caminho para rotear os pacotes de uma origem até um destino através destes AS. Para uma melhor obtenção dos parâmetros de QoS exigidos por aplicações típicas, é necessário um balanceamento de carga nos roteadores, de forma que otimize as rotas entre um *host* de origem e um *host* de destino. A engenharia de tráfego com o mecanismo MPLS é a melhor proposta para otimizar essas rotas [2] [13].

Assim, os agregados de fluxos que pertencem a uma mesma classe de serviço são associados a LSPs, com isso têm-se um ambiente de serviços diferenciados sobre o MPLS.

Em um cenário DiffServ – MPLS, os LSRs devem ser capazes de identificar as classes de serviços diferenciados nos pacotes de forma a ser possível o fornecimento de QoS contratada pelo usuário.

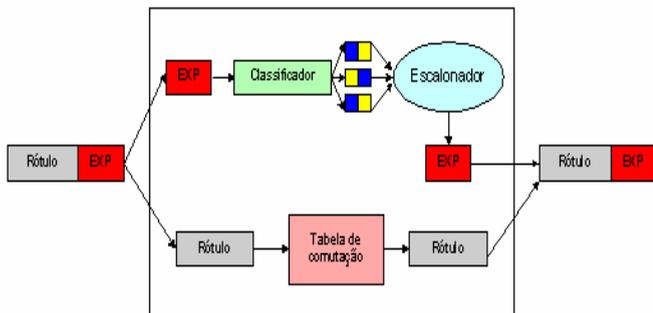


Fig. 2. Modelo simplificado de LSR-DiffServ.

De acordo com a Figura 2, o LSR que opera com o mecanismo DiffServ inicialmente separa o rótulo de entrada e o campo EXP. O rótulo de entrada é utilizado na determinação do novo rótulo e da interface de saída. O campo EXP por sua vez, é interpretado pelo módulo de classificação, que identificará a classe de serviço associada ao fluxo. Cabe ao escalonador implementar o PHB associado à classe, a fim de determinar o momento em que os pacotes que compõem o fluxo serão encaminhados. Desta forma o LSR determina onde enviar cada pacote a partir do rótulo de entrada e quando efetivar o envio com base no valor do campo EXP.

Diante disso existem dois problemas básicos para o MPLS suportar DiffServ, conforme ilustrado na Figura 1. Primeiro, o DSCP encontra-se no cabeçalho IP, e os LSRs (*Label Switched Routers*) examinam somente o cabeçalho do rótulo. Segundo, o DSCP é composto de 6 bits e o campo EXP do rótulo MPLS tem somente 3 bits. Existem então duas soluções

definidas em [7] para resolver esses problemas: *EXP-Inferred-PSC LSP (E-LSP)* e *Label-Only-Inferred-PSC LSP (L-LSP)*.

A. E-LSP (*EXP-Inferred-PSC LSP*)

O E-LSP determina o PHB de um pacote unicamente do campo EXP e, assim, pode suportar até 8 PHBs por E-LSP. O campo de EXP transmite o enfileiramento, escalonamento e a precedência de descarte do pacote para o LSR. O PHB pode ser usado para sinalizar explicitamente os PHBs suportados durante o estabelecimento do LSP [7]. O mapeamento EXP-to-PHB pode ser pré-configurado ou explicitamente sinalizado durante o estabelecimento do E-LSP [7].

B. L-LSP (*Label-Only-Inferred-PSC LSP*)

Os pacotes de um micro fluxo devem manter a mesma ordem do LSR de ingresso ao LSR de egresso, assim eles pertencem à mesma PSC (*PHB Scheduling Class*) [15], que é um grupo de PHBs tais que a ordem dos pacotes no grupo deve ser preservada, e são colocados em uma fila comum. O conjunto de BAs cuja ordem deve ser mantida durante a transmissão constitui um OA (*Ordered Aggregate*) [15]. O L-LSP determina o PHB de um pacote para ambos os campos: Rótulo e EXP. O campo Rótulo determina o PSC enquanto o campo EXP determina o PHB.

O mapeamento EXP-to-PHB é uma função do PSC transportado no L-LSP, e é ajustado durante o estabelecimento do L-LSP [7].

C. Mapeamento do Rótulo

Cada LSR que opera com o mecanismo DiffServ deve conhecer o contexto DS para um rótulo, o qual é armazenado na NHLFEs (*Next Hop Label Forwarding Entry*) para cada rótulo que sai da rede [7]. Um contexto DS consiste nos seguintes itens: tipo de LSP, PHBs suportados, mapeamento EXP-to-PHB para um rótulo que entra na rede, mapeamento PHB-to EXP para um rótulo que sai da rede.

TABELA I
MAPEAMENTO DSCP-EXP.

| Classes | DiffServ | Campo EXP | Classe de Serviço MPLS |
|---------|----------|-----------|------------------------|
| | | | |
| EF | 101110 | 110 | Ouro |
| AF11 | 001010 | 101 | Prata |
| AF31 | 011010 | 011 | Bronze |
| BE | 000000 | 000 | Melhor Esforço |

A Tabela 1 mostra como o campo EXP do rótulo MPLS pode ser utilizado por pacotes transitando pela rede MPLS para obter o serviço DiffServ equivalente.

Esta informação é armazenada na ILM e FTN durante a atribuição do rótulo e é usada para encaminhar pacotes ao próximo salto. Um rótulo pode ser mapeado a várias NHLFEs na ILM ou FTN para permitir vários próximos saltos em caso de balanceamento de carga e re-roteamento rápido.

V. MODELO DE SIMULAÇÃO

Este estudo é baseado em modelagem e simulação e utilizou o *Network Simulator* - NS [8] em sua versão ns-2. A adição dos módulos MNS-2.0 [9] e DiffServ patch [10] à versão básica do ns-2, possibilitou a utilização de diferentes mecanismos para o suporte à simulação de serviços diferenciados e MPLS [11], [12].

A. Ambiente de Rede e Parâmetros de Simulação

O ambiente de rede adotado neste estudo é apresentado na Figura 3. Considerou-se a existência de quatro fontes de tráfegos em uma rede de um provedor local (ISP 1): voz, vídeo e duas fontes FTP. O ISP 1 está conectado diretamente a uma rede *backbone* (ISP Regional) através dos roteadores de borda R1 e LER 1, que implementam o mecanismo DiffServ para diferenciação dos serviços e MPLS para prover engenharia de tráfego. Na outra extremidade, considerou-se os *hosts* conectados diretamente a uma outra rede de um provedor local (ISP 2) através dos roteadores de borda LER 2 e R2, que possui dois *hosts* para receber os tráfegos do ISP 1. Os enlaces entre o roteador dos ISPs e a rede *backbone* operam a 10 Mbps com latência de 10 ms.

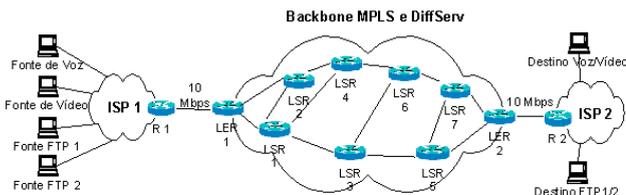


Fig. 3. Ambiente de Rede.

A largura de banda dos enlaces da rede *backbone* é de 1 Mbps com uma latência de 10 ms. O tráfego de voz é modelado por uma fonte CBR (*Constant Bit Rate*) a uma taxa de 64 kbps, sendo transportado pelo UDP (*User Datagram Protocol*) e classificado como ouro (Tabela 1). O tráfego de vídeo é também modelado por uma fonte CBR a uma taxa de 115 kbps, sendo transportado pelo UDP e classificado como prata. O tráfego de dados é modelado por fontes VBR (*Variable Bit Rate*), tais como, aplicações FTP transportados pelo TCP (*Transmission Control Protocol*). Uma fonte denominada FTP2, que pode, por exemplo, ser usada para transações bancárias é classificada como bronze. E uma fonte FTP1, que pode ser usada para transferência comum de arquivos foi classificada como melhor esforço.

VI. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta sessão apresenta-se uma análise dos resultados obtidos através de experimentos baseados em simulação. Avalia-se três ambientes, sendo que o primeiro deles é considerado sem nenhum mecanismo de QoS. O segundo ambiente utiliza somente DiffServ para obtenção de QoS e, o último combinando MPLS e DiffServ com este objetivo. Para todas as simulações avaliou-se a largura de banda e o atraso fim-a-fim. O tempo de simulação é de 20 segundos.

Na fase inicial dos experimentos baseados em simulação, o ambiente de rede foi configurado sem nenhum mecanismo de QoS, ou seja, utilizando o serviço de melhor esforço suportado atualmente pela Internet e, conseqüentemente, todos os tráfegos receberam o mesmo tratamento.

A Figura 4 mostra a largura de banda ocupada pelas aplicações. Observa-se que não há justiça no compartilhamento da banda e uma má utilização do enlace.

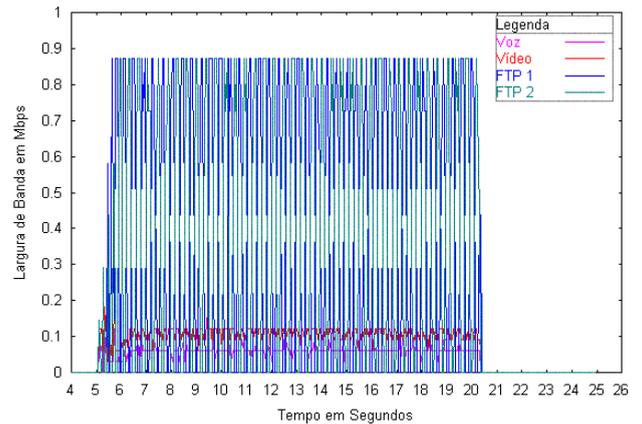


Fig. 4. Largura de banda ocupada pelos tráfegos sem mecanismo de QoS.

A Figura 5 mostra os atrasos fim-a-fim sofridos pelas aplicações de voz, vídeo, FTP1 e FTP2. Conforme pode ser observado, os resultados obtidos sem o uso de mecanismos de QoS mostram valores que superam os limites superiores aceitáveis pelas aplicações multimídia.

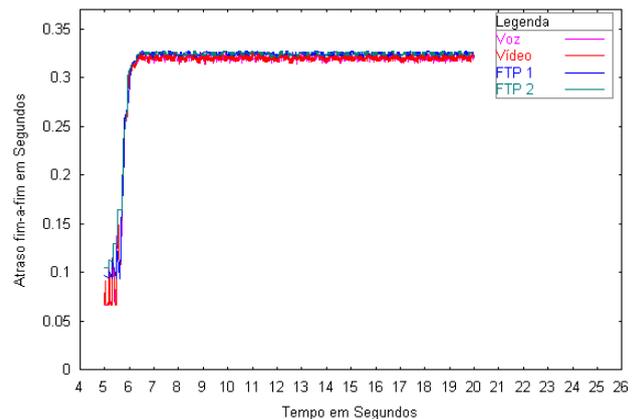


Fig. 5. Atraso fim-a-fim sem mecanismo de QoS.

Na fase seguinte dos experimentos, a rede *backbone* foi configurada para implementar somente o mecanismo DiffServ para prover QoS e as redes dos ISPs apenas com o serviço de melhor esforço. As aplicações de voz, vídeo, FTP1 e FTP2 foram classificadas pelo mecanismo DiffServ como ouro, prata, melhor esforço e bronze, respectivamente.

A Figura 6 apresenta a largura de banda ocupada pelas aplicações. Como pode ser observado, somente com o mecanismo DiffServ há equidade no compartilhamento da

banda, mas ainda há uma má utilização da capacidade do enlace.

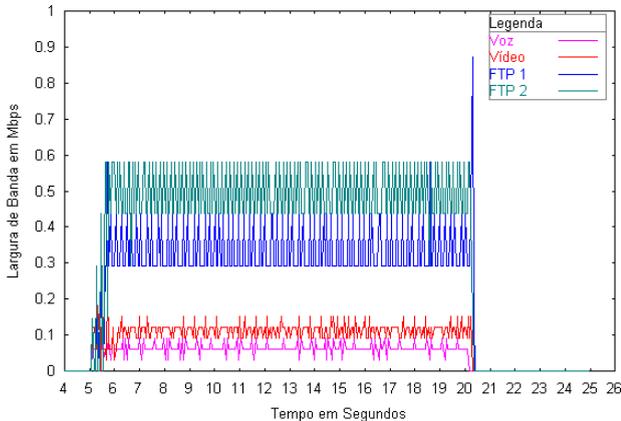


Fig. 6. Largura de banda ocupada pelos tráfegos com somente DiffServ na rede.

A Figura 7 ilustra o atraso fim-a-fim a que os tráfegos ficaram sujeitos. Percebe-se uma melhora significativa comparando-se com o ambiente sem mecanismo de QoS. O atraso fim-a-fim para o tráfego de voz ficou próximo de 100 ms. Já o tráfego de vídeo ficou próximo de 250 ms, o que ainda não satisfaz aos requisitos de QoS das aplicações citadas anteriormente [14].

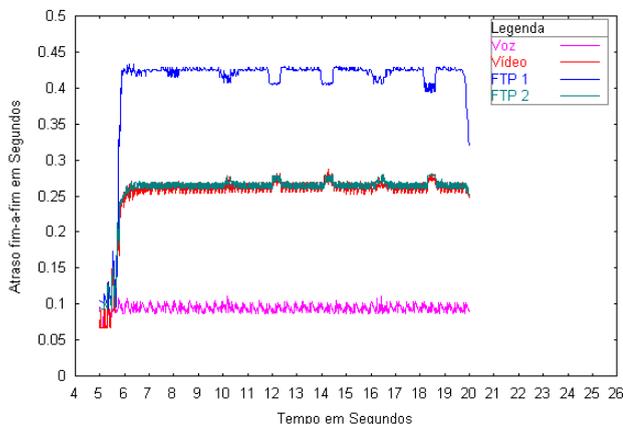


Fig. 7. Atraso fim-a-fim com somente DiffServ.

Na fase final dos experimentos, a rede *backbone* foi configurada para implementar o mecanismo DiffServ e a Engenharia de Tráfego provida pelo MPLS.

Foram configurados 4 LSPs, um para cada aplicação e de acordo com seus respectivos requisitos de QoS. O LSP 1 foi estabelecido para tráfego de voz e classificado como ouro com requisitos rígidos de atraso e *jitter* e o LSP 2 estabelecido para a aplicação denominada FTP1 e classificada como melhor esforço. O caminho adotado para ambos os LSPs 1 e 2 é através dos roteadores R1-LER1-LSR1-LSR3-LSR5-LER2-R2. O LSP 3 foi estabelecido para o tráfego de vídeo e classificado como prata com requisitos rígidos de atraso e *jitter*, e o LSP 4 foi estabelecido para a aplicação denominada FTP2 e

classificada como bronze. O caminho para os LSPs é através dos roteadores R1-LER1-LSR2-LSR4-LSR6-LSR7-LER2-R2.

A Figura 8 apresenta a largura de banda ocupada pelos LSPs, onde observa-se que há equidade no compartilhamento da banda e o aproveitamento máximo do enlace.

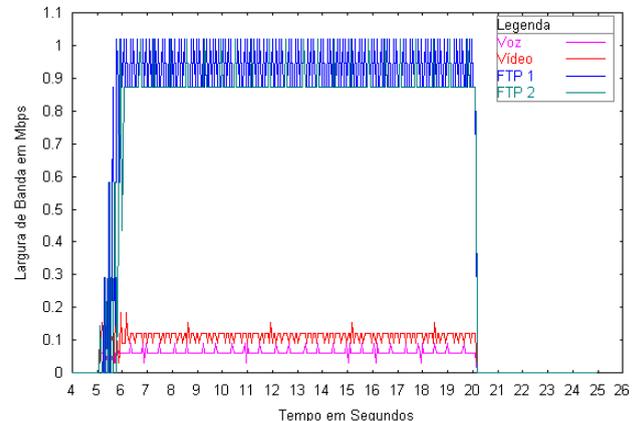


Fig. 8. Largura de banda ocupada pelos tráfegos com DiffServ e MPLS na rede.

A Figura 9 apresenta o atraso fim-a-fim nos LSPs, observa-se que o requisito de QoS em termos de atraso fim a fim para o tráfego de voz é garantido em torno de 75 ms e, para o tráfego de vídeo em torno de 110 ms, garantindo assim os limites impostos por aplicações multimídia [14].

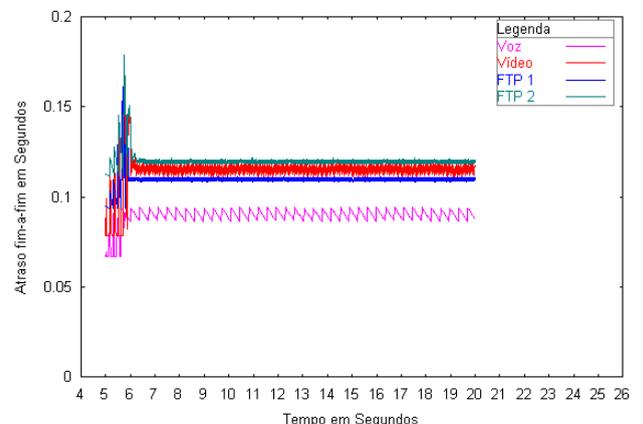


Fig. 9. Atraso fim-a-fim com DiffServ e MPLS.

VII. CONCLUSÕES

Neste artigo, apresentou-se por meio de experimentos baseados em modelagem e simulação uma comparação entre três ambientes de rede diferentes. Inicialmente um ambiente de rede sem nenhum mecanismo de QoS foi avaliado, onde os limites requeridos pelas aplicações multimídia foram ultrapassados. Num ambiente de rede onde se avaliou somente o mecanismo DiffServ na rede, observou-se o atendimento parcial aos requisitos de QoS. Por fim, num ambiente de rede onde combina-se DiffServ e Engenharia de

Tráfego MPLS observa-se que as aplicações multimídia tiveram seus requisitos de QoS atendidos.

REFERÊNCIAS

- [1] Blake, S., et al., "An Architecture for Differentiated Services", Internet RFC 2475, December, 1998.
- [2] Awduche, D., et al., "Requirements for Traffic Engineering over MPLS", Internet RFC 2702, September, 1999.
- [3] Rosen, E., Viswanathan, A., Callon, R., "Multiprotocol Label Switching Architecture", Internet RFC 3031, January, 2001.
- [4] Nichols, K., et al., "Definition of the Differentiated Services Field (DS Byte) in the IPv4 and IPv6 Headers", Internet RFC 2474, December, 1998.
- [5] Jacobson, V., Nichols, K., "An Expedited Forwarding PHB", Internet RFC 2598, June, 1999.
- [6] Heinamen, J., et al., "Assured Forwarding PHB Group", Internet RFC 2597, June, 1999.
- [7] Le Faucheur, F., et al., "Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services", Internet RFC 3270, May, 2002.
- [8] NS-2, "The Network Simulator", <http://www.isi.edu/nsnam/ns>, January, 2002.
- [9] Ahn, G., Chun, W., "Overview of MPLS network simulator: Design and implementation", <http://flower.ce.cnu.ac.kr/fog1/mns/index.html>.
- [10] Murphy, S., "The ns MPLS/DiffServ patch", <http://www.teltec.dcu.ie/~murphys/ns-work/mpls-DiffServ/>, April, 2001.
- [11] Raghavan, S., "DiffServ and MPLS: Concepts and Simulation", July, 2001.
- [12] Saad, T., et al., "QoS Support of Multimedia Applications over DiffServ-Enabled MPLS Networks", the 8th International Conference on Advances in Communications and Control (COMCON8), Greece, September 2001.
- [13] Xiao, X., Hannan, A., Bailey, B., "Traffic Engineering with MPLS in the Internet", IEEE Network, pp. 28-33, March/April, 2000.
- [14] Shahsavasi, M., Al-Tunsi, A., "MPLS Performance Modeling Using Traffic Engineering To Improve QoS Routing on IP Networks", Proceedings IEEE SoutheastCon, Columbia, SC, 2002.
- [15] Grossman, D., "New Terminology for DiffServ", IETF Internet Draft, draft-ietf-DiffServ-new-terms-04.txt, March, 2001.
- [16] Carpenter, B., Nichols, K., "Differentiated Services in the Internet", Proceedings of the IEEE, Vol 90, No 9, pp. 1479-1494, September, 2002.