

Avaliação de um Ambiente de Serviços Diferenciados com Tráfego de Vídeo MPEG-4

Johann M. H. Magalhães e Paulo R. Guardieiro

Faculdade de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Uberlândia
38.400-902 Uberlândia - MG

RESUMO

O atual modelo da Internet não provê nenhum tipo de Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS) à crescente demanda de aplicações multimídia que estão surgindo. Esta impossibilidade aponta para a adição de novos serviços que possam dar suporte a tais aplicações. Dentre algumas propostas, destaca-se a de Serviços Diferenciados (*Differentiated Services* - DiffServ). Para as aplicações de vídeo, surge um novo padrão de compressão, o MPEG-4, que permite a obtenção de níveis de qualidade satisfatórios com baixa exigência de largura de banda. Diante disto, este artigo apresenta uma avaliação do suporte ao tráfego de vídeo MPEG-4 em um ambiente DiffServ, utilizando-se os serviços de Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding* - EF) e de Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding* - AF). Diferentes mecanismos utilizados na implementação destes serviços na arquitetura DiffServ foram considerados, tendo em vista a avaliação do atraso, da variação do atraso e da perda de pacotes experimentados pelo fluxo MPEG-4 ao atravessar uma rede DiffServ. Os resultados mostram a necessidade da utilização de uma diferenciação no tratamento de fluxos que necessitam de garantias de QoS, sendo que o serviço AF apresenta um comportamento satisfatório ao transporte de tráfegos altamente surtivos, característico do fluxo de vídeo MPEG-4.

1. INTRODUÇÃO

Na Internet, onde o tamanho dos arquivos transmitidos deve ser o menor possível, a palavra-chave é compressão. A busca é sempre pelo máximo de compressão com um mínimo de perda de qualidade. Com este intuito foi aprovado o padrão MPEG-4 [1], com a promessa de revolucionar a multimídia na Internet, tornando realidade a transmissão de vídeo pela rede mundial [2].

O MPEG-4 abrange um grande conjunto de aplicações, tais como videoconferência, vídeo sob demanda, jogos, televisão digital, ensino a distância, dentre outras. Além disso, as altas taxas de compressão do padrão MPEG-4, possibilitará a transmissão de imagens e vídeo em tempo real para pequenos equipamentos portáteis sem fio, como telefones celulares e PDAs.

Atualmente, a Internet trabalha com o serviço de 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. Os fluxos buscam a melhor forma possível para chegar ao seu destino, conforme as rotas e a largura de banda disponíveis. Quando há congestionamento, pacotes são descartados sem distinção, fazendo com que não haja garantia de entrega destes pacotes ao destinatário da informação.

No transporte de vídeo, além de largura de banda mínima, necessita-se de limites garantidos de atraso, variação de atraso (*jitter*) e perda de pacotes. Contudo a Internet não é capaz de garantir estes requisitos de qualidade ao tráfego de vídeo. Para isto, mecanismos que garantam QoS às aplicações de vídeo necessitam ser incorporados ao atual modelo da Internet [3][4].

Com o intuito de atender a demanda por QoS na Internet, a IETF (*Internet Engineering Task Force*) propõe a arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ) [5]. Esta arquitetura oferece um modelo escalar baseado em agregações de fluxos de dados. Através de classes de serviços, oferece-se um tratamento diferenciado aos diversos fluxos na Internet, de acordo com as necessidades de largura de banda, atraso, *jitter* e perda de pacotes.

Portanto, a associação da arquitetura DiffServ com o padrão de compressão MPEG-4, tornará possível a distribuição de aplicações de vídeo na Internet com garantias de QoS. Desta maneira, este artigo apresenta algumas configurações da arquitetura DiffServ que podem possibilitar o transporte de vídeo MPEG-4 com garantias de QoS. Utilizando os serviços EF e AF, propostos para a implementação desta arquitetura, analisa-se neste trabalho o desempenho do tráfego de vídeo MPEG-4 ao atravessar um domínio DiffServ em relação ao atraso, *jitter* e perda de pacotes experimentados por este fluxo.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta o padrão de compressão de vídeo MPEG-4. Na Seção 3 discute-se os conceitos básicos da arquitetura de Serviços Diferenciados. Na Seção 4 são apresentados alguns exemplos de configuração da arquitetura DiffServ para o transporte de vídeo MPEG-4. A Seção 5 apresenta o modelo de simulação utilizado. Na Seção 6 são apresentados os resultados obtidos. Por fim, as conclusões deste trabalho são apresentadas na Seção 7.

2. O PADRÃO DE COMPRESSÃO MPEG-4

O MPEG-4 considera uma cena composta de objetos de vídeo (*Video Objects* - VOs). Os VOs têm propriedades como forma, movimento, textura, etc. Isto corresponde a entidades no fluxo de bits que o usuário pode manipular e acessar. Um plano de objetos de vídeo (*Video Object Plane* - VOP) é uma ocorrência de VOs em um dado instante de tempo. Cada VOP tem sua própria resolução espacial e temporal.

Uma informação adicional é enviada com os VOPs a fim de informar ao receptor como compor a cena. A codificação do VOP é composta de codificação da forma, codificação de textura e compensação de movimento. Os VOPs são divididos em

macro-blocos (MB) de 16x16, similar aos tipos de quadros em MPEG-1, sendo VOP-I, VOP-B, VOP-P. Em um intracodificado VOP-I os valores absolutos de textura em cada MB são codificados utilizando a DCT (*Discret Cosine Transform*), quantizados e codificados. No VOP-P, utiliza-se codificação preditiva de compensação de movimento de um VOP-I ou VOP-P anterior na seqüência. Nos VOPs-B, cada MB é codificado a partir da interpolação entre um VOP-I ou VOP-P anterior e um VOP-I ou VOP-P posterior.

Os VOPs são agrupados em uma seqüência denominada GoP (*Group of Picture*). Um GoP é constituído de um VOP-I seguido de VOPs-P e VOPs-B. O arranjo destes VOPs é determinado através dos parâmetros M e N, que representam, respectivamente, a distância entre os VOPs-P e a distância entre os VOPs-I.

3. SERVIÇOS DIFERENCIADOS

A arquitetura DiffServ [5] busca oferecer um tratamento diferenciado aos diversos fluxos na Internet, através de classes de serviços, de acordo com as necessidades de largura de banda, atraso, variação de atraso e perda de pacotes. Este tratamento diferenciado é oferecido no interior de um domínio DiffServ.

O domínio DiffServ é composto pelos chamados roteadores de borda e pelos roteadores de núcleo, como mostra a Fig. 1. Os roteadores de borda são responsáveis pela classificação do fluxo e por sua adequação às condições pré-estabelecidas entre o cliente e o provedor de serviços (*Internet Service Provider - ISP*). Os roteadores de núcleo encaminham os fluxos de acordo com a classe de serviço estabelecida. Os roteadores de borda recebem ainda a denominação de roteadores de ingresso ou egresso, dependendo do sentido do tráfego tratado.

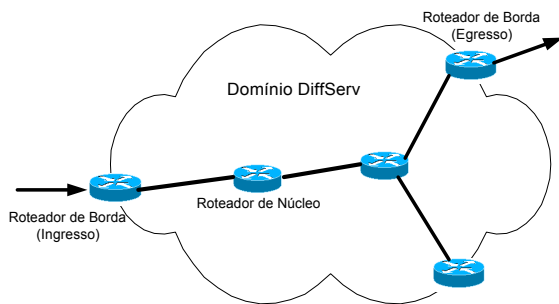


Figura 1. Domínio de Serviços Diferenciados.

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 [6]. 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.

Os pacotes IP, ao entrarem em um domínio DiffServ, são primeiramente classificados e marcados com o código correspondente a uma determinada agregação de fluxos. Nos

roteadores de borda a classificação é realizada pelos chamados classificadores Multicampo (*Multifield - MF*) e no interior do domínio DiffServ pelos classificadores de Comportamento Agregado (*Behavior Aggregate - BA*).

A arquitetura DiffServ provê ainda um conjunto de elementos funcionais, os quais são responsáveis pelo condicionamento do tráfego em um domínio DiffServ. Estes elementos incluem medidores, marcadores, suavizadores e policiadores. Os medidores são responsáveis por verificar a conformidade do tráfego ao perfil de tráfego contratado. O marcador estabelece o código no campo DSCP do pacote, acrescentando este pacote a uma determinada agregação. O suavizador de tráfego retém um ou mais pacotes até que estes estejam em conformidade com o perfil encontrado e possam ser encaminhados na rede. O policiador descarta os pacotes que excedem o perfil contratado. A Fig. 2 mostra o relacionamento entre estes elementos.

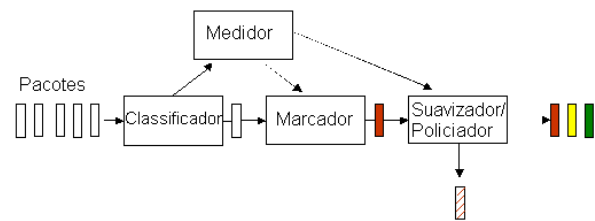


Figura 2. Elementos do modelo DiffServ.

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 deve estar estabelecido em um Acordo de Nível de Serviço (*Services 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*) [7] e o de Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding - AF*) [8]. 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.

4. TRANSPORTE DE VÍDEO MPEG-4 EM UMA REDE DIFFSERV

Nesta seção procurou-se relacionar alguns exemplos de configuração que possibilitam o transporte de vídeo MPEG-4 com garantias de QoS em uma rede DiffServ. São utilizados os serviços EF e AF, bem como alguns mecanismos propostos para a implementação da arquitetura DiffServ.

4.1 Encaminhamento Expresso

O PHB EF oferece a garantia de uma taxa mínima de transmissão, pré-configurada em cada nó compatível com a proposta de diferenciação de serviços que o suporte. Desta maneira, o PHB EF pode ser usado para prover um serviço fim a fim com perda, atraso e *jitter* reduzidos, bem como largura de banda assegurada.

Os principais responsáveis pelo atraso, *jitter* e perda de pacotes, experimentados na rede, são as filas onde os pacotes permanecem durante o seu percurso. Diante disso, o PHB EF deve proporcionar aos pacotes pertencentes a esta agregação, uma permanência mínima nas filas. Necessita-se, também, garantir que a agregação de fluxo contratante receba a taxa de serviço contratada. Além disso, os roteadores de borda devem condicionar o tráfego, para que este não ultrapasse esta taxa contratada. Isto pode ser feito através de mecanismos de policiamento e suavização.

A Fig. 3 apresenta uma configuração de uma rede DiffServ utilizando o PHB EF no transporte de vídeo MPEG-4. Nesta configuração, utiliza-se um *buffer*, onde os pacotes esperam pela disponibilidade de permissões no *Token Bucket*. Os pacotes serão descartados quando o tamanho do *buffer* for insuficiente. Para que os pacotes tenham um tempo mínimo de permanência na fila, pode-se utilizar um escalonador de filas PRR (Priority Round Robin) ou WRR (Weighted Round Robin), os quais podem garantir uma vazão ao tráfego EF. O tamanho da fila EF é controlado pelo mecanismo de descarte *Drop Tail*, o qual procede o descarte dos pacotes que chegam, se a sua capacidade for ultrapassada.

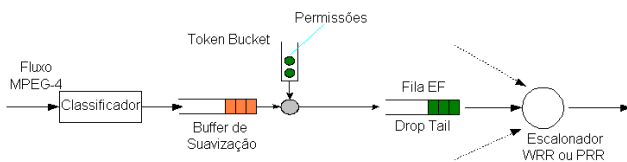


Figura 3. Configuração PHB EF para transporte de vídeo.

4.2 Encaminhamento Assegurado

No PHB AF, cada tráfego é associado a um perfil que define o serviço esperado pelo mesmo. Um mecanismo de condicionamento é responsável por marcar os pacotes de acordo com a sua conformidade ou não com este perfil. Desta maneira, o serviço AF assegura que os pacotes marcados como em conformidade serão entregues com alta probabilidade.

Para o transporte de vídeo MPEG-4, uma configuração para o PHB AF é mostrado na Fig. 4. A medição do tráfego é feita por um *Token Bucket*. De acordo com o resultado da medição, o marcador realiza a marcação dos pacotes como em conformidade (IN) e em não conformidade (OUT). Os pacotes seguem para uma fila com mecanismo de descarte RIO (RED IN/OUT) [9], que utiliza dois algoritmos RED [10]. Este mecanismo, ao detectar um congestionamento iminente, realiza o descarte inicial de pacotes OUT e, caso o congestionamento persista, todos os pacotes OUT são descartados. Os pacotes IN somente são descartados quando há uma inundação de pacotes IN, o que em uma rede bem dimensionada não deve ocorrer.

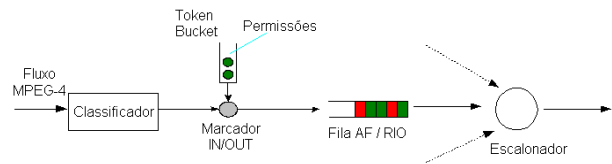


Figura 4. PHB AF com um *Token Bucket*.

Pode-se ainda utilizar um medidor com dois *Token Buckets* e um marcador com três bits de diferenciação. Neste caso são definidas quatro classes AF, sendo três níveis de descarte em cada classe (Tab. 1).

Descarte	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Baixo	AF11	AF21	AF31	AF41
Médio	AF12	AF22	AF32	AF42
Alto	AF13	AF23	AF33	AF43

Tabela 1. Classes do PHB AF com marcação de três bits de diferenciação.

A Fig. 5 apresenta uma configuração com dois *Token Buckets*. Os pacotes, inicialmente marcados como AF11, chegam ao primeiro *Token Bucket*, se este possui permissões suficientes, os pacotes são encaminhados, mantendo a marcação AF11. Caso contrário, o pacote é verificado pelo segundo *Token Bucket* e, se este possui quantidade suficiente de permissões, o pacote é enviado com prioridade de descarte média, marcado como AF12. Caso não haja permissões no segundo *Token Bucket*, o pacote é enviado com prioridade de descarte alta, AF13. A prioridade de descarte pode ser associada com as cores verde, amarela e vermelha, de acordo com a proposta *Three Color Marker* [11]. No gerenciamento de fila AF é necessário utilizar um mecanismo RED com três níveis de prioridade [12].

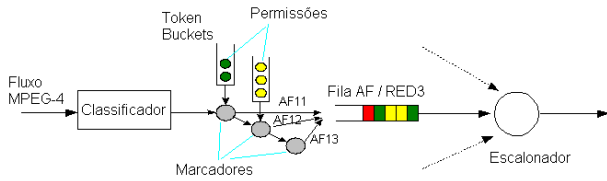


Figura 5. PHB AF com dois *Token Buckets*.

Nas configurações apresentadas acima, a marcação dos pacotes é feita indiscriminadamente, independente de sua importância dentro de um fluxo MPEG-4. Onde, além do tamanho, existe também uma grande diferença no conteúdo de cada tipo de VOP. Para um VOP-P ou VOP-B serem decodificados, todos os VOPs de que eles dependem devem ter a possibilidade de serem decodificados. Assim, um VOP-I ou um VOP-P incorretos propagam o erro para todos os VOPs dependentes, corrompendo-os. No pior caso, um GoP inteiro pode ficar impossibilitado de ser decodificado devido a um VOP-I danificado, uma vez que todos os outros VOPs no GoP dependem diretamente ou indiretamente dele.

Tendo em vista estes fatos, apresenta-se uma configuração que permite um descarte prioritário em relação ao tipo de VOP de um fluxo MPEG-4. Nesta configuração, utiliza-se a marcação com três bits de diferenciação, sendo os pacotes pertencentes aos VOPs-I marcados como AF11, os pacotes VOPs-P como AF12 e VOPs-B como AF13. Desta maneira, obtém-se uma discriminação no descarte de pacotes.

Com o mesmo objetivo, pode-se utilizar o marcador de três cores (*Three Color Marker*). Neste caso, os VOPs-I seriam marcados com verde, os VOPs-P com amarelo e os VOPs-B com vermelho, como mostrado na Fig. 6.

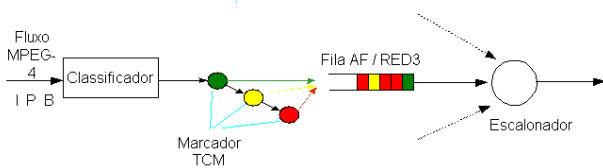


Figura 6. PHB AF com marcador *Three Color Marker*.

5. MODELO DE SIMULAÇÃO

As simulações foram realizadas com a ferramenta *Network Simulator - NS* [13], em sua versão ns-2. A adição de módulos à versão básica do ns-2, possibilita a utilização de diferentes mecanismos para o suporte à simulação de serviços diferenciados.

5.1 Ambiente de Simulação

O ambiente de rede adotado nas simulações é apresentado na Fig. 7. A fonte de vídeo gera pacotes baseados em um arquivo de quadros MPEG-4 de domínio público disponível em [14]. Os detalhes da geração deste arquivo são descritos em [15]. Utilizou-se o arquivo correspondente ao filme *Starwars-IV*, codificado com alta qualidade por um codificador MPEG-4, o qual possui uma taxa média de 0,28 Mbps e uma taxa de pico de 1,9 Mbps. As fontes TCP são distribuídas entre os nós F0, F1 e F2, que enviam seus pacotes aos nós D0, D1 e D2, respectivamente. O tráfego TCP é gerado por aplicações FTP, que permanecem ativas durante toda a simulação. As fontes de tráfego e os nós de destino são conectadas ao domínio DiffServ por enlaces de 10 Mbps. Os nós no interior do domínio DiffServ são interligados por enlaces de 10 Mbps e por um enlace "gargalo" de 1,024 Mbps.

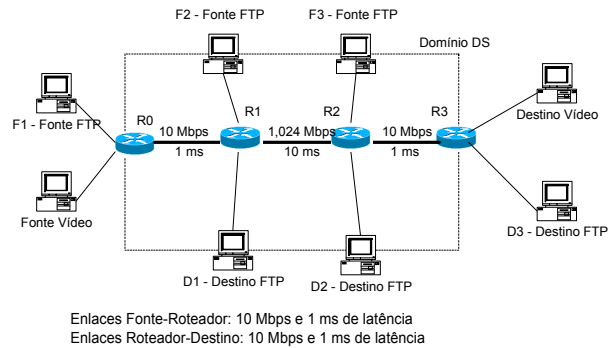


Figura 7. Ambiente de simulação.

O desempenho do tráfego de vídeo MPEG-4, quando atravessa um domínio DiffServ, é avaliado utilizando-se como métricas o atraso, *jitter* e perda de pacotes.

6. RESULTADOS OBTIDOS

O objetivo das simulações apresentadas é avaliar o comportamento de um fluxo de vídeo MPEG-4 utilizando diferentes mecanismos de implementação da arquitetura DiffServ.

Primeiramente, utilizou-se o serviço BE para o transporte do fluxo de vídeo. Em seguida, o transporte deste fluxo foi feito usando o serviço EF. Neste caso, 70% do enlace "gargalo" (R1-R2) foi reservado para o serviço EF, utilizando um escalonador WRR, sem proceder nenhum tipo de condicionamento do tráfego na entrada do domínio DiffServ. Os resultados obtidos com estes serviços são mostrados na Tab. 2, onde pode-se observar uma diminuição significativa no atraso e na perda de pacotes por parte do serviço EF, verificando-se o tratamento diferenciado dado ao fluxo de vídeo.

Tipo de Serviço	Atraso Médio (ms)	Jitter Médio (ms)	Perda (%pacotes)
1 - BE	169,4530	3,2826	4,84
2 - EF	33,4251	4,1326	0,26
3 - EF com <i>Token Bucket</i>	38,9254	9,6533	36,19
4 - EF com suavizador	169,8790	8,2336	3,86
5 - AF	45,7076	7,0812	3,55

Tabela 2. Atraso, jitter, perda e vazão do fluxo MPEG-4 utilizando os serviços BE, EF e AF.

Para a avaliação do condicionamento de tráfego na entrada do domínio DiffServ, diminuiu-se a reserva do enlace "gargalo" para uma largura de banda de 0,35 Mbps. No condicionamento, utilizou-se um *Token Bucket* com taxa de reposição de 0,35 Mbps, ou seja, os pacotes que ultrapassarem esta taxa serão descartados. Os resultados são apresentados no item 3 da Tab. 2, onde se observa um aumento na quantidade de pacotes perdidos. Com o intuito de amenizar as perdas neste caso, pode-se utilizar um *buffer* na entrada do *Token Bucket* onde os pacotes ficam aguardando pelas permissões. Com um *buffer* de capacidade de 100 pacotes, obteve-se uma significativa redução de pacotes perdidos, entretanto, o suavizador causou um grande aumento no atraso dos pacotes. Desta maneira, para a utilização de serviço EF no transporte de fluxo variável, é necessário uma certa ponderação na determinação dos parâmetros da taxa contratada e na capacidade do suavizador.

A simulação apresentada a seguir investiga a utilização do serviço AF no transporte de vídeo MPEG-4. Neste caso, o *Token Bucket* usado no condicionamento do tráfego faz a marcação dos pacotes que excederem a taxa contratada, ao invés de descarte. A reserva de recursos no enlace "gargalo" para o serviço AF é configurada em 0,35 Mbps, bem como a taxa de reposição do *Token Bucket*. O gerenciamento da fila AF é feita pelo algoritmo RIO. Observando os resultados no item 5 da Tab. 2, tem-se um aumento do atraso. Entretanto, ocorre uma diminuição significativa na perda de pacotes. Deve-se ressaltar, que foi utilizado a mesma configuração para o serviço EF, com a diferença de não proceder o descarte de pacotes na entrada do domínio e, sim no interior do mesmo, de acordo com as condições de tráfego na rede.

A Fig. 8 ilustra o atraso dos pacotes do fluxo de vídeo, quando são utilizados os serviços BE, EF e AF. Observa-se que os valores de atraso no serviço EF se encontram em um intervalo menor do que os apresentados pelo serviço AF, que por sua vez são bem menores do que no serviço BE.

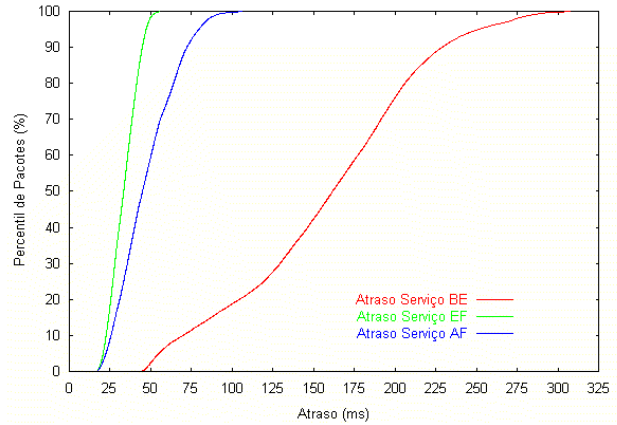


Figura 8. Atraso para os serviços BE, EF e AF.

O jitter experimentado pelo fluxo MPEG-4 é mostrado na Fig. 9. Pode-se observar que 70% dos pacotes apresentam valores de jitter semelhantes nos três serviços. Entretanto, o serviço BE apresenta valores máximos maiores do que para os serviços EF e AF. A obtenção de valores de jitter mais limitados, facilita a configuração de *buffers* no receptor para eliminação do mesmo.

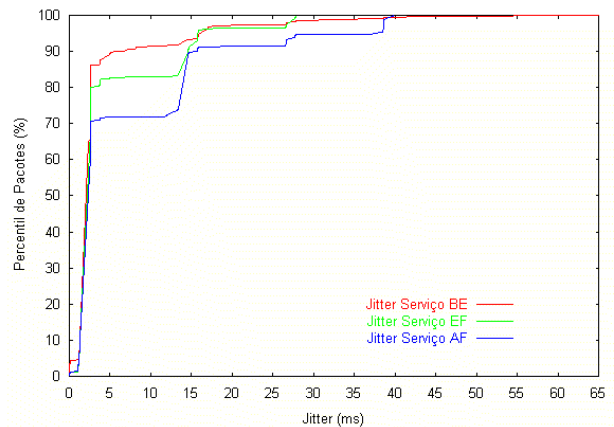


Figura 9. Jitter para os serviços BE, EF e AF.

Na simulação seguinte procurou-se avaliar a marcação dos pacotes de acordo com o tipo de VOP. Neste caso, os VOPs-I são marcados para a classe AF11, os VOPs-P para AF12 e os VOPs-B para AF13. O gerenciamento da fila AF é feito pelo algoritmo RED com três níveis de descarte (RED3). A Tab. 3 mostra a porcentagem de descarte de cada VOP em relação ao total de pacotes descartados. Observa-se que, apesar de haver um aumento no descarte total de pacotes em relação à marcação dos pacotes pela taxa contratada, as porcentagens de VOPs-I e VOPs-P descartados diminuíram.

Serviço	Perda (%pacotes)	VOPs-I (%)	VOPs-P (%)	VOPs-B (%)
AF	3,55	43,5	24,3	32,2
AF/RED3	6,09	19,8	10,5	69,7

Tabela 3. Comparação entre a marcação pela taxa contratada e a marcação pelo tipo de VOP.

7. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma avaliação de um ambiente de serviços diferenciados com tráfego de vídeo MPEG-4. Para isso, apresentou-se o padrão MPEG-4, que promete revolucionar a transmissão de vídeo na Internet, possibilitando altas taxas de compressão e mantendo a sua qualidade. Discutiu-se também, os conceitos básicos da arquitetura DiffServ.

Exemplos de configuração da arquitetura DiffServ foram também apresentados com o intuito de proporcionar um ambiente para o transporte de vídeo MPEG-4, assegurando a qualidade de serviço necessária. Avaliou-se o desempenho de um tráfego MPEG-4 ao atravessar uma rede DiffServ em relação ao atraso, *jitter* e perda de pacotes experimentados por este fluxo. Os resultados obtidos das simulações com o serviço BE em relação aos serviços EF e AF, evidenciaram a necessidade do uso de uma diferenciação no tratamento de fluxos que necessitam de garantias de QoS. Observou-se ainda, um desempenho satisfatório do serviço AF em relação às métricas utilizadas. Com a utilização da marcação de pacotes levando em conta o tipo de VOP, foi possível preservar os VOPs-I e VOPs-P, os quais servem de referência na composição de outros VOPs, o que possibilita uma melhor qualidade na recepção de vídeo para o usuário final.

8. REFERÊNCIAS

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Overview of the MPEG-4 Standard", January 2001.
- [2] Koenen, R., "MPEG-4: Multimedia for our time", *IEEE Spectrum*, vol 36, pp. 26-33, February 1999.
- [3] Ferguson, P., and Huston, G., "Quality of Service in the Internet: Fact, Fiction or Compromise?", *INET'98*, Geneva, Switzerland, July 1998.
- [4] Xiao, X., and Ni, L., "Internet QoS: A Big Picture", *IEEE Network*, vol. 13, no. 2, pp. 1-13, March 1999
- [5] Blake, S. et al, "An Architecture for Differentiated Services", *Internet RFC 2475*, December 1998.
- [6] Nichols, K. et al., "Definition of the Differentiated Services Field (DS Byte) in the Ipv4 and Ipv6 Headers", *Internet RFC 2474*, December 1998.
- [7] Jacobson, V. and Nichols, K., "An Expedited Forwarding PHB", *Internet RFC 2598*, June 1999.
- [8] Heinamen, J., et al., "Assured Forwarding PHB Group", *Internet RFC 2597*, June 1999.
- [9] Clark, D. D., and Fang, W., "Explicit Allocation of Best Effort Packer Delivery Service", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 4, pp. 362-373, August 1998.
- [10] Floyd, S., and Jacobson, V., "Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance", *IEEE/ACM*

Transactions on Networking, vol. 1, no. 4, pp. 397-413, July 1993.

- [11] Heinanen, J., et al., "A Three Color Marker", *Internet draft*, draft-heinanen-diffserv-tcm-01.txt, February 1999.
- [12] Ziviani, A., Rezende, J. F., Duarte, O. C. M. B., and Fdida, S. - "Improving the Delivery Quality of MPEG Video Streams by Using Differentiated Services", *COPPE/EE/UFRJ*, December 2000
- [13] Fall, K. and Varadhan, K., "The NS Manual - Notes and Documentation", *Tech. Rep., The VINT Project*, April 2001.
- [14] Fitzek, F. H. P. and Reisslein, M., "MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation", <http://www.eas.asu.edu/trace/>
- [15] Fitzek, F. H. P. and Reisslein, M., "MPEG-4 and H.263 Video Traces for Network Performance Evaluation", *Technical Report TKN-00-06*, Technical University Berlin, October 2000.