Tráfego de Voz em um Ambiente de Diferenciação de Serviços na Internet*

Artur Ziviani
artur@gta.ufrj.br

José F. de Rezende
rezende@gta.ufrj.br

Otto Carlos M. B. Duarte
otto@gta.ufrj.br

Grupo de Teleinformática e Automação – GTA
Programa de Engenharia Elétrica – COPPE
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caixa Postal 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
http://www.gta.ufrj.br/

Resumo

A arquitetura de serviços diferenciados propõe-se a oferecer Qualidade de Serviço de forma escalável às novas aplicações multimídia surgidas na Internet. Neste artigo é estudado o transporte de tráfegos de voz pelo esquema de Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding* - EF), que é uma das atuais propostas no contexto de diferenciação de serviços. Os serviços prestados ao tráfego gerado por fontes On-Off e CBR são comparados em termos de retardo fim-a-fim e variação deste retardo (*jitter*). A análise em ambos os casos inclui os diferentes algoritmos que podem implementar o serviço EF, a influência do número de fluxos presentes e quão eficientemente cada tipo de tráfego utiliza uma alocação extra de banda passante.

Abstract

The differentiated services architecture offers a scalable alternative to provide Quality of Service to the arising multimedia applications on the Internet. This paper studies the transport of voice traffic by the Expedited Forwarding (EF) scheme, which is one of the current proposals in the differenciated services context. The services provided to traffic generated by On-Off and CBR sources are compared in terms of end-to-end delay and jitter. The analysis on both cases includes the different algorithms that could implement the EF service, the influence of the number of active flows and how efficiently each type of traffic uses an extra allocated bandwidth.

*Este trabalho foi realizado com recursos da UFRJ, FUJB, CNPq, CAPES, COFECUB, FAPERJ e REENGE.

1 Introdução

A arquitetura atual da Internet não atende satisfatoriamente as exigências de Qualidade de Serviço (*Quality of Service* - QoS) das novas aplicações multimídia [1]. O serviço de melhor esforço oferecido pelo protocolo IP não fornece nenhuma garantia contra atrasos ou perdas de pacotes. Os pacotes transmitidos são tratados igualmente ao longo de sua rota pelo interior da rede. Assim sendo, pacotes pertencentes a aplicações que podem tolerar perdas, atrasos ou variações no atraso competem pelos recursos em igualdade com pacotes de aplicações sensíveis a estes fatores. Além destas características, a Internet atual experimenta um crescimento vertiginoso em relação ao número de estações conectadas, quantidade de informações disponíveis e, conseqüentemente, no tráfego transportado. O advento de novas aplicações multimídia, com requisitos diferentes das aplicações tradicionais e rígidos em relação aos parâmetros de QoS, sinaliza a necessidade de serviços adicionais a serem oferecidos pela Internet, possivelmente com tarifação para estes serviços discriminados [2].

A proposta, desenvolvida pelo *Internet Engineering Task Force* (IETF), de um novo conjunto de serviços para diferentes fluxos de dados foi denominada de Serviços Integrados na Internet (*Internet Integrated Services* - IIS) [3]. Em um ambiente de integração de serviços, cada fluxo de dados representa uma sessão em andamento. A arquitetura de integração de serviços recomenda a utilização do protocolo RSVP (*ReSerVation Protocol*) [4, 5, 6] para a reserva dos recursos necessários ao atendimento dos requisitos de QoS de uma determinada sessão. A manutenção de um estado por fluxo e o processamento a eles associado é inviável em roteadores com grande volume de tráfego em uma rede de escala global como a Internet. A impossibilidade de ser escalável limitou a adoção da proposta de integração de serviços de forma ostensiva na Internet.

A partir dos estudos iniciais de integração de serviços surgiu a proposta de Serviços Diferenciados (*Differentiated Services* - DS) [7, 8], que objetiva prover serviços distintos de forma escalável sem a necessidade de manutenção de um estado por fluxo e de sinalização a cada salto. O tratamento ofertado por um nó compatível com a proposta de diferenciação de serviços é efetuado em uma agregação de fluxos, não mais em fluxos individuais. Os fluxos individuais são classificados em agregações de fluxos pré-estabelecidas, que receberão serviços diferenciados entre elas. Esta classificação e marcação de pacotes ocorre nas fronteiras de um domínio de diferenciação de serviços. No interior do domínio DS, as agregações de fluxos serão encaminhadas por cada nó segundo um Comportamento por Nó (*Per-Hop Behavior* - PHB) selecionado através de um mapeamento entre o código que identifica a agregação e este comportamento. O serviço fim-a-fim é obtido pelo uso combinado dos PHBs em todos os nós do domínio DS. A Figura 1 compara qualitativamente os modelos de serviços em relação à granularidade de fluxos. A comparação mostra do serviço de melhor esforço, onde a granularidade de fluxos é nula, até o modelo de integração de serviços, onde a granularidade de fluxos é máxima. A proposta de serviços diferenciados se situa em um ponto intermediário.

O objetivo deste artigo é um estudo de simulação sobre a transmissão de voz, primordial nas novas aplicações multimídia, através de um domínio de diferenciação de serviços. Nas simulações realizadas são avaliadas tanto fontes com taxa de transmissão constante (*Constant Bit Rate* - CBR) quanto fontes do tipo atividade-silêncio (*On-Off*), ambas comumente utilizadas para a modelagem de fontes de voz. Estudos preliminares sobre o

Figura 1: Comparação entre os modelos de serviço.

tráfego de pacotes de voz através de uma estrutura de serviços diferenciados na Internet estão em andamento. Em [9], é analisado o tráfego de voz transmitido sobre a estrutura original de serviços diferenciados, onde o conceito de PHB não estava definido. No presente artigo é enfocado o desempenho do PHB de Encaminhamento Expresso [10] no transporte de tráfegos de voz CBR e On-Off. A análise, de ambos os casos, inclui os diferentes algoritmos que podem implementar o serviço EF, a influência do número de fluxos presentes e quão eficientemente cada tipo de tráfego utiliza uma alocação extra de banda passante.

Este artigo está estruturado da seguinte forma. Na Seção 2 são revistos os conceitos básicos e as propostas atuais de diferenciação de serviços, em especial o PHB de Encaminhamento Expresso sobre o qual está enfocado este artigo. A Seção 3 descreve os modelos e a topologia de simulação adotados. Os resultados obtidos, através de simulação, são apresentados na Seção 4. Finalmente, na Seção 5, é concluído o artigo.

2 O Encaminhamento Expresso

A identificação das agregações de fluxos no interior de um domínio de diferenciação de serviços é efetuada através da marcação de um novo campo chamado DS (*Differentiated Services*). O campo DS é obtido pela renomeação do campo TOS (*Type of Service*), no caso de IPv4, ou do campo *Traffic Class*, no caso de IPv6 [11]. Os seis bits mais significativos do campo DS formam o sub-campo DSCP (*Differentiated Services Codepoint*), que identifica a agregação de fluxos. Os dois outros bits estão reservados para uso futuro. Em cada roteador compatível com a proposta de diferenciação de serviços, o código (*codepoint*) é mapeado em um Comportamento por Nó (*Per-Hop Behavior* - PHB), que define o tratamento a ser recebido pelo pacote para o seu encaminhamento na rede.

Os nós na fronteira de ingresso ao domínio de diferenciação de serviços devem possuir informações que identifiquem um fluxo de dados individualmente. Desta forma, os pacotes pertencentes a um fluxo podem ser classificados e marcados com o código correspondente a uma determinada agregação de fluxos. Os classificadores que examinam mais de um campo do cabeçalho do pacote para a identificação de um fluxo, para que possam indicar a sua marcação como pertencentes a uma determinada agregação, são chamados de classificadores Multi-Campo (*Multi-field* - MF). Os classificadores deste tipo encontram-se nos nós de ingresso. No interior do domínio DS, a classificação dos pacotes é realizada somente pelo exame do campo DS. Os classificadores que realizam esta tarefa são chamados de classificadores de Comportamento Agregado (*Behavior aggregate* - BA). Resumidamente, há um estado por fluxo nos nós de ingresso e um estado por agregação nos demais nós pertencentes ao domínio DS.

Atualmente, estão em discussão duas propostas de PHB para a implementação de serviços diferenciados: o Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding* - AF) [12] e o Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding* - EF) [10]. O primeiro provê quatro classes, cada uma com uma certa quantidade de recursos (memória e banda passante) alocada. Em cada classe, os pacotes são marcados com uma de três preferências para descarte. Havendo congestionamento, a preferência de descarte determina a importância relativa entre os pacotes de uma mesma classe. Não há o reordenamento de pacotes de um mesmo fluxo quando estes pertencem a uma mesma classe. O PHB de Encaminhamento Expresso 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. O serviço fim-a-fim obtido por um fluxo em um domínio DS é o resultado da combinação dos Comportamentos por Nó (PHBs) recebidos pela agregação a qual o fluxo pertence ao longo de sua trajetória pelo interior do domínio. Assim, o PHB EF pode ser utilizado para a obtenção de um serviço fim-a-fim com baixa perda, baixo retardo, baixa variação do retardo (*jitter*) e banda passante assegurada através de um domínio DS. Entre os pontos finais de um domínio DS, o PHB EF apresenta-se como um caminho dedicado virtual que possui a taxa de transmissão pré-configurada. O objetivo deste artigo é investigar o serviço oferecido ao tráfego de voz, modelado tanto por fontes CBR quanto por fontes On-Off, pelo PHB EF no interior de um domínio DS.

As filas nas quais os pacotes em trânsito permanecem nos nós ao longo de sua rota na rede são as maiores responsáveis pela perda, pelo retardo e pelo *jitter* apresentados por este pacote. O PHB EF objetiva diminuir a permanência dos pacotes pertencentes a uma determinada agregação de fluxos em filas no interior de um domínio DS. Para alcançar esta meta, os nós que ofereçam o PHB EF devem garantir que a agregação de fluxos contratante receba a taxa de serviço contratada, que deve ser maior que a taxa de chegada em qualquer instante. Esta garantia deve prevalecer independentemente da intensidade de outros tráfegos no nó. Os roteadores de ingresso no domínio DS devem condicionar o tráfego EF, através de policiamento, de forma a assegurar que a sua taxa de chegada aos nós esteja em conformidade com a taxa contratada. Esta medida protege o domínio DS de um uso abusivo e obriga as fontes de tráfego EF a suavizar o tráfego transmitido se desejarem evitar o descarte de seus pacotes na fronteira do domínio DS.

A implementação do PHB EF pode ser realizada por diferentes mecanismos de escalonamento de filas. Um mecanismo com uma fila prioritária (*Priority Round-Robin* - PRR) fornece o comportamento desejado. Neste caso, torna-se especialmente importante o condicionamento de tráfego nas fronteiras do domínio DS. A ausência de tal condicionamento permitiria, em uma situação de abuso da agregação EF em relação à taxa de transmissão, a utilização de recursos não contratados em detrimento de tráfegos presentes nas demais filas. Outra possibilidade de implementação é a utilização de uma fila entre um conjunto de filas servidas por um mecanismo de round-robin ponderado (*Weighted Round-Robin* - WRR) [13]. A fatia de serviço alocada à fila que atende a agregação EF deve ser correspondente à taxa de serviço contratada.

Em [10], é realizada uma análise da variação do *jitter* apresentado por um tráfego CBR quando o PHB EF é implementado por PRR ou por WRR. A definição de *jitter* adotada é o valor absoluto da diferença entre os tempos de chegada (a_i e a_j) de dois pacotes consecutivos menos a diferença entre seus tempos de partida (d_i e d_j), como mostrado na Equação 1. A conclusão demonstra que a implementação por fila prioritária é o melhor caso e a implementação por WRR o pior em relação ao *jitter*.

$$jitter = |(a_j - a_i) - (d_j - d_i)| \tag{1}$$

O artigo mostra que se a fatia WRR configurada for escolhida para igualar exatamente as taxas de chegada e saída em cada nó, os resultados não são estáveis. Então, foi definida uma razão serviço-chegada (*service-to-arrival ratio*). A definição da razão serviço-chegada r é apresentada na Equação 2. O valor WRR_{fatia} representa a porcentagem da banda passante do enlace de saída (BW_{saida}) alocada à agregação EF e TP_{EF} é a taxa de pico da agregação EF. O efeito resultante de uma razão serviço-chegada maior que 1 é a reserva de uma banda passante superior à solicitada pela agregação EF nos enlaces pertencentes ao domínio DS. A razão mínima para haver estabilidade é 1,03 e a adotada nas simulações foi mantida em 1,06. Ou seja, a banda passante efetivamente reservada é 6% maior do que a requisitada.

$$r = \frac{WRR_{fatia}.BW_{saida}}{TP_{EF}} \tag{2}$$

Como as fontes ou o domínio DS adjacente devem condicionar o tráfego, suavizando-o para a sua entrada no domínio DS seguinte, o domínio posterior não deveria descartar nenhum pacote. Caso haja o descarte de algum pacote no nó de ingresso, recomenda-se que este descarte seja notificado como uma possível violação de segurança ou o efeito de uma configuração mal realizada [10].

3 O Modelo de Simulação

As simulações foram realizadas com a ferramenta ns-2 [14]. Uma extensão ao pacote básico do ns-2 foi implementada para o suporte à simulação de serviços diferenciados. A implementação de diferentes PHBs é realizada através da combinação de uma diversidade de mecanismos de classificação, marcação e escalonamento de pacotes e condicionamento de tráfego. Assim sendo, a extensão ao ns-2 desenvolvida inclui mecanismos de:

- classificação de pacotes, tanto classificadores BA quanto MF;
- escalonamento de pacotes, tais como filas com prioridade (PRR), *weighted round-robin* (WRR) e *weighted fair-queueing* (WFQ);
- condicionamento de tráfego, tais como suavizadores de tráfego (*shapers*) e policiadores;
- marcação de pacotes de acordo com perfis de tráfego (*profilers*);
- gerenciamento ativo de *buffers*, tais como o RIO [15].

Este artigo utiliza uma combinação de alguns destes mecanismos para a implementação do PHB EF no ns-2. Nas simulações realizadas, o PHB EF é obtido através da configuração de classificadores MF na fronteira do domínio, que identificam os fluxos componentes da agregação EF. Os demais fluxos são classificados em outra classe que recebe o serviço de melhor esforço. Os pacotes são então marcados com o código da agregação apropriada. No interior do domínio, classificadores BA reconhecem as agregações e as indicam ao encaminhamento adequado. Em cada nó, a cada código ou conjunto de códigos, é associada uma fila com prioridade relativa ou uma porcentagem de atendimento a ser oferecido àquela fila, respectivamente para o caso de PRR ou WRR.

3.1 A Topologia de Simulação

A topologia de simulação adotada está apresentada na Figura 2. Ela representa uma situação onde fontes F_i estão conectadas a um domínio DS por enlaces de 10Mbps. Os roteadores de ingresso ou egresso no domínio estão hachurados. O interior do domínio DS simulado é formado por nós interligados por enlaces de 2,048Mbps, 10Mbps e 100Mbps. O "gargalo" do domínio é o enlace de 2,048Mbps, que representa um enlace ponto a ponto E1 de longa distância. Os nós de destino D_i estão conectados ao domínio DS por enlaces de 10Mbps. Nas simulações realizadas, a reserva de banda passante em todos os enlaces para a agregação de fluxos EF é mantida inicialmente em 512kbps. Esta alocação representa 25% do enlace de 2,048Mbps, que é o "gargalo" do domínio DS simulado. O restante é destinado ao tráfego de melhor esforço.

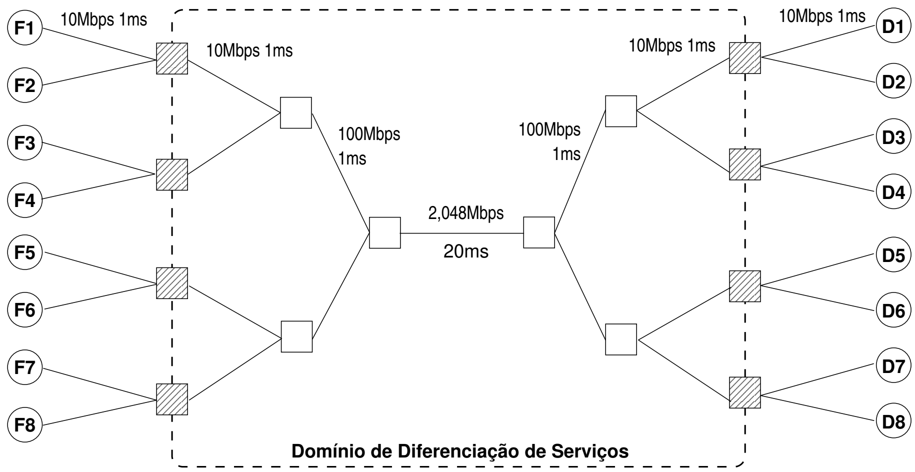


Figura 2: Topologia de simulação.

3.2 O Tráfego Monitorado

As simulações realizadas envolvem fontes CBR ou On-Off para a modelagem do tráfego de voz, configuradas como descrito a seguir. Quando as fontes On-Off estão no estado de atividade (*On*), é gerado um tráfego de voz a uma taxa de pico de 64kbps. Os períodos de atividade são determinados por uma variável aleatória com distribuição exponencial de média 400ms. Os períodos de silêncio (*Off*) também são exponencialmente distribuídos em uma varíavel aleatória de média 600ms. Estes valores resultam em uma taxa média para o tráfego On-Off de 25,6kbps. As fontes CBR utilizadas possuem taxas de 64kbps com uma variação de +10% ou -10% deste valor. Esta variação é a mesma adotada em [10]. Fontes deste tipo são conhecidas como fontes CBR com variação de retardo (*jittered CBR sources*). Em todos os fluxos CBR ou On-Off, os pacotes utilizados possuem tamanho de 576 octetos como em [9]. Toda fonte (CBR ou On-Off) localizada no nó F_i envia pacotes ao nó D_i. As fontes são sempre distribuídas uniformemente pelos nós F_i. Para preencher o restante da banda passante, um tráfego de melhor esforço é gerado por 8 conexões FTP ativas durante todo o período de simulação. Estas conexões interligam, respectivamente, as fontes F_1 a F_8 aos destinos de D_1 a D_8. O tamanho dos pacotes dos tráfegos FTP é de 1500 octetos. Para um estudo de pior caso, ao invés de 8 fluxos FTP é adotada uma fonte CBR com taxa de 1,505Mbps (2,048Mbps - 1,06 x 512kbps), que ocupa toda a sua porção do enlace de "gargalo" permanentemente.

O tráfego em rajadas gerado pelas fontes CBR variáveis e pelas On-Off é suavizado na interface de saída do nó onde a fonte está localizada. A suavização é realizada por um algoritmo do tipo balde furado (*leacky bucket*), onde a profundidade do balde é mantida nas simulações em 576 octetos, o equivalente a 1 pacote. A taxa de renovação dos créditos no balde é variada conforme o número de fluxos EF presentes na simulação, visando manter preenchida a fatia de 512kbps alocada à agregação EF.

4 Resultados Obtidos

Os resultados apresentados nesta seção são medidos de uma fonte EF de referência localizada no nó F_1 que transmite para um destino no nó D_1. Em todas as simulações, o atraso dos pacotes é o retardo fim-a-fim apresentado pelos pacotes deste fluxo de referência. O *jitter* é obtido como descrito na Equação 1. Além do valor médio destes parâmetros, mostra-se também os percentis de pacotes 50, 90 e 95. Por exemplo, se o atraso de um determinado tráfego possuir um percentil 90 igual a 57ms, isto significa que 90% dos pacotes deste tráfego possuem atraso menor ou igual a 57ms.

Para a manutenção de interatividade em uma conversação, o retardo fim-a-fim do tráfego de voz em um sentido deve estar abaixo de 150ms. Uma baixa variação neste retardo (*jitter*) também é importante, pois diminui a quantidade de *buffers* nos receptores, necessários para compensar estas variações.

4.1 Comparação entre PRR e WRR

Na Seção 2 foi destacado que o PHB EF pode ser implementado pelos mecanismos de escalonamento de fila PRR ou WRR. O primeiro estudo realizado compara ambas as implementações transportando tráfegos CBR ou tráfegos On-Off na agregação EF. São 8 fluxos CBR de 64kbps com variação de +10% a -10% para preencher a fatia de 512kbps de banda passante requisitada para reserva no domínio DS. Estas fontes CBR têm seus suavizadores de tráfego regulados com taxa de reposição de créditos em 64kbps. No caso de fontes On-Off, são adotadas 20 fontes com a taxa de reposição de créditos de seus suavizadores fixada em 25,6kbps, que é o valor médio da taxa de transmissão destas fontes. Os suavizadores de ambas as fontes têm a capacidade do balde estabelecida em 1 pacote (576 octetos). A razão r de serviço-chegada foi mantida em 1,06. Desta forma, são efetivamente reservados 542,72kbps para a agregação EF. Visando obter o resultado para o pior caso, foi acrescida uma fonte CBR de 1,505Mbps para preencher permanentemente o restante do enlace de "gargalo" do domínio DS.

Os atrasos fim-a-fim médios e percentis de pacotes 50, 90 e 95 apresentados pelos tráfegos CBR e On-Off nas duas implementações estão mostrados na Tabela 1 e os valores de *jitter* correspondentes na Tabela 2. A Figura 3 ilustra estes resultados. Deve-se ressaltar que apenas o atraso entre a entrada e a saída do domínio é considerado. O atraso introduzido pelos suavizadores não é considerado, pois este condicionamento está sendo realizado nas estações e o objetivo do trabalho é estudar o efeitos causados pelo domínio de diferenciação. A implementação do PHB EF por fila prioritária apresenta um baixo retardo tanto para tráfegos CBR quanto On-Off. O atraso de todos os pacotes neste caso está situado em uma estreita faixa de variação, pois quando há pacotes na fila prioritária, estes são transmitidos em detrimento das demais filas. Estes pacotes somente sofrem algum retardo em filas quando há a presença de outros pacotes componentes da agregação EF na mesma fila. O *jitter* é bastante baixo na implementação por PRR para tráfegos CBR. A implementação por PRR mantêm-se como o melhor caso para fluxos CBR ou On-Off.

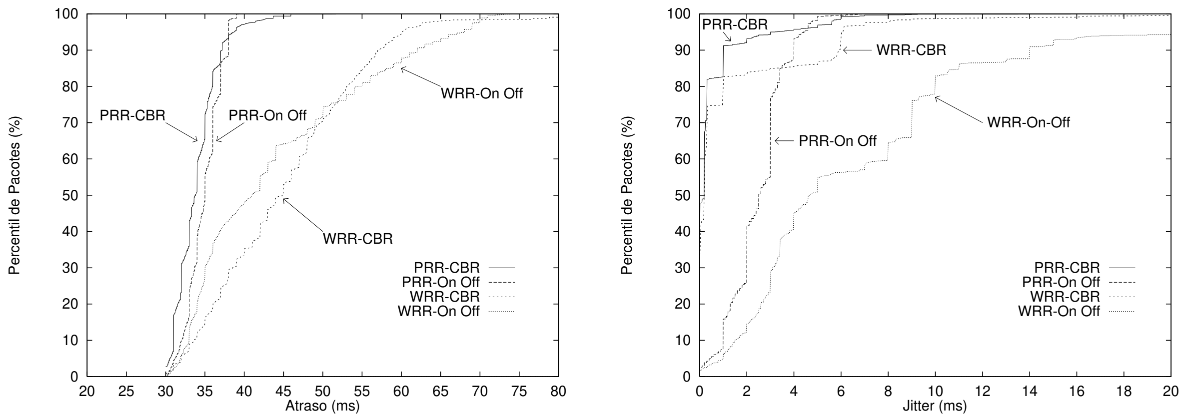
Tabela 1: Atraso para tráfegos CBR e On-Off.

			Percentil de Atraso (ms)		
		Atraso Médio (ms)	50	90	95
PRR	CBR	33,9638	33,8	37,2	38,7
	On-Off	34,8586	35,0	38,0	38,0
WRR	CBR	45,239	45,0	57,0	60,0
	On-Off	44,0059	41,0	62,0	68,0

Tabela 2: Jitter para tráfegos CBR e On-Off.

			Percentil de Jitter (ms)		
		Jitter Médio (ms)	50	90	95
PRR	CBR	0,536018	0,2	1,0	3,0
	On-Off	2,46711	2,6	4,0	4,4
WRR	CBR	1,31407	0,2	6,0	6,1
	On-Off	6,72347	4,6	14,0	20,0

A implementação do PHB EF por WRR mostra um atraso fim-a-fim maior. Nesta configuração, há uma fatia de serviço garantida ao tráfego que não pertence à agregação EF. Ou seja, os pacotes pertencentes à agregação EF, em alguns casos, devem aguardar o momento de sua fila ser servida. Até 75% dos pacotes do tráfego On-Off possuem atraso fim-a-fim menor que os pacotes do tráfego CBR. No entanto, acima do percentil 75 o



(a) Atraso (ms)

(b) Jitter (ms)

Figura 3: Comparação dos tráfegos CBR e On-Off.

desempenho do tráfego CBR é melhor. Este comportamento reflete-se em um valor de *jitter* bem maior apresentado pelo tráfego On-Off.

Os roteadores comercializados atualmente já possuem o algoritmo de escalonamento de filas WRR implementado. Por isso, apesar deste algoritmo apresentar um pior desempenho comparada com o PRR, alternativas que possam melhorar seu desempenho merecem ser investigadas. Nas simulações seguintes serão propostas modificações em alguns parâmetros da simulação e o impacto destas mudanças sobre o desempenho da implementação do PHB EF por WRR será analisado.

4.2 Variação do Número de Fluxos On-Off

A próxima simulação investiga se o decréscimo do número de fluxos On-Off pode diminui o atraso fim-a-fim e o *jitter* deste tráfego em uma implementação do PHB EF por WRR. Nesta simulação, a banda passante não alocada à agregação EF é preenchida pelas 8 fontes FTP descritas na Subseção 3.2. A taxa de reposição de créditos no suavizador de tráfego é reconfigurada de modo que a agregação EF permaneça a uma taxa de 512kbps, a fatia do enlace "gargalo" alocada à agregação EF. O número de fluxos é variado de 8 fluxos On-Off, com taxa de reposição estabelecida em 64kbps, até 20 fluxos On-Off, com taxa de reposição em 25,6kbps. A capacidade de créditos nos suavizadores permanece em 1 pacote, ou seja, 576 octetos. Também busca-se estudar se a variação do número de fluxos On-Off, melhora o desempenho deste tráfego em relação ao tráfego CBR. As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados para o atraso fim-a-fim e o *jitter* respectivamente. O resultado obtido para o tráfego CBR com 8 fluxos está colocado na última linha de cada tabela para facilitar a comparação. A Figura 4 mostra as curvas correspondentes a estas tabelas.

O resultado dos 20 fluxos On-Off e dos 8 fluxos CBR é melhor do que o obtido na subseção anterior. Deve-se ressaltar que nesta simulação o tráfego complementar é realizado pelas 8 fontes FTP. Isto justifica a melhora no desempenho, pois ao perder pacotes as conexões FTP diminuem suas taxas de transmissão e as aumentam progressivamente até uma nova perda. Este comportamento faz com que a ocupação do enlace de "garga-

Tabela 3: Atraso variando-se o número de fluxos On-Off.

Número de fluxos On-Off	Atraso Médio (ms)	Percentil de Atraso (ms)		
		50	90	95
8	33,2732	33,1	35,7	36,0
16	34,7571	34,0	40,0	43,0
18	37,9453	35,0	48,0	55,0
20	43,4864	38,1	57,7	63,0
CBR	44,5149	45,0	55,4	59,0

Tabela 4: Jitter variando-se o número de fluxos On-Off.

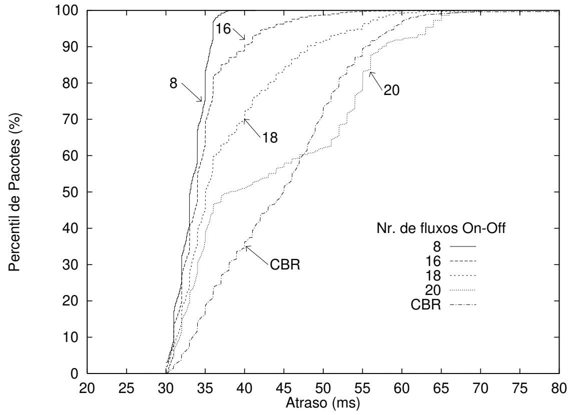
Número de fluxos On-Off	Jitter Médio (ms)	Percentil de Jitter (ms)		
		50	90	95
8	2,04998	2,0	4,0	5,0
16	2,93009	2,0	7,0	9,0
18	4,10857	2,9	11,0	13,3
20	3,60508	2,5	11,0	14,0
CBR	4,94284	4,0	10,4	14,9

lo" pelo tráfego complementar varie, não havendo 100% de ocupação como na subseção anterior.

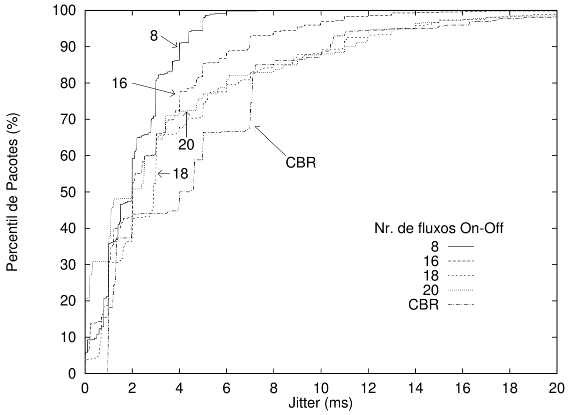
O desempenho apresentado pelo fluxo On-Off de referência melhora gradativamente com a diminuição da quantidade de fluxos, mesmo aumentando-se a taxa de reposição de créditos nos suavizadores de tráfego de cada fonte. Com 18 fluxos On-Off obtêm-se um desempenho melhor do que o alcançado pelos 8 fluxos CBR ocupando-se a mesma reserva de banda passante no domínio DS. Desta forma, um número consideravelmente maior de fluxos On-Off do que CBR pode ser absorvido pelo domínio DS com desempenho similar.

4.3 Variação da Razão Serviço-Chegada

No terceiro cenário de simulação estuda-se o efeito da variação da razão r de serviço-chegada (Equação 2) no atraso fim-a-fim dos tráfegos CBR e On-Off. Nesta simulação, o tráfego de melhor esforço também é gerado pelas 8 fontes FTP, como na subseção anterior. A razão serviço-chegada foi variada de 1,06 a 1,86. Logo, no último caso, a fatia do enlace de "gargalo" alocada à agregação EF é 46,5% que representa aproximadamente 952kbps. São duas simulações com agregações EF distintas atendidas por um serviço EF implementado por WRR. Na primeira simulação o tráfego EF é composto por 20 fluxos On-Off, suavizados à taxa de 25,6kbps. Na segunda, a agregação EF é formada por 8 fluxos CBR de 64kbps, suavizados à taxa de 64kbps. Mais uma vez os suavizadores possuem capacidade de créditos equivalente a 1 pacote (576 octetos). O objetivo desta simulação é verificar como cada um dos tráfegos reage a uma alocação extra de banda passante. As medidas para o atraso fim-a-fim dos tráfegos On-Off e CBR estão mostradas



(a) Atraso (ms)



(b) Jitter (ms)

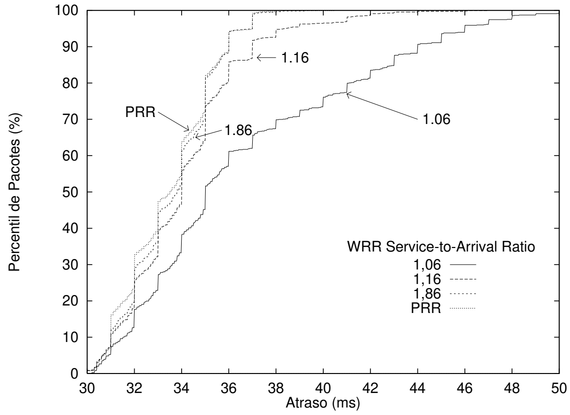
Figura 4: Variação do número de fluxos On-Off.

nas Tabela 5. A Figura 5 ilustra estes resultados. Também estão apresentados os dados correspondentes à implementação por PRR para ser uma referência de desempenho.

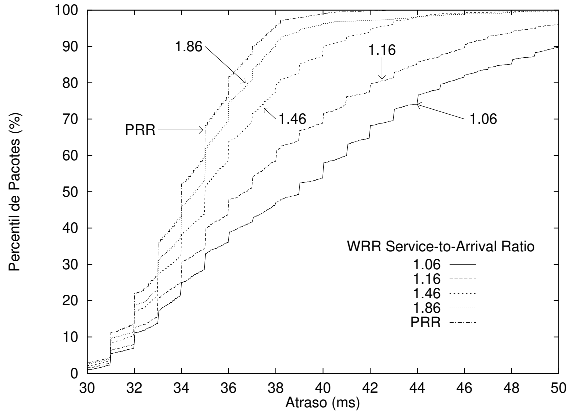
Tabela 5: Atraso variando-se a razão serviço-chegada.

	r	Atraso Médio (ms)	Percentil de Atraso (ms)		
			50	90	95
On-Off	1,06	36,6597	35,0	44,0	46,0
	1,16	34,1081	34,0	37,0	38,3
	1,46	33,5674	33,8	36,0	36,9
	1,86	33,5674	33,8	36,0	36,9
	PRR	33,442	33,5	36,0	37,0
CBR	1,06	39,8603	39,0	50,0	52,8
	1,16	37,9358	36,7	46,0	49,0
	1,46	35,6533	35,0	40,0	42,1
	1,86	34,8192	34,6	38,0	39,3
	PRR	34,2107	34,0	37,0	38,0

Como esperado, o aumento da razão r de serviço-chegada diminui o atraso fim-a-fim de ambos os tráfegos. No entanto, o desempenho da agregação EF composta de fluxos On-Off melhora mais rapidamente do que a formado por fluxos CBR. O tráfego On-Off alcança com uma razão serviço-chegada de 1,46 desempenho equivalente ao o obtido quando utilizando o mecanismo PRR. A partir deste ponto, os valores medidos estabilizam-se. O desempenho do tráfego CBR aproxima-se gradualmente do alcançado quando utilizando o mecanismo PRR, mantendo-se ainda inferior com $r = 1,86$. Nos dois casos há um limite de desempenho estabelecido pela implementação do PHB EF por fila prioritária (PRR). Este resultado indica que a adoção de uma reserva maior de recursos nos roteadores beneficia primordialmente a agregação EF formada por tráfegos On-Off. O ganho de desempenho da agregação EF formada por tráfegos On-Off em relação a



(a) Tráfego On-Off



(b) Tráfego CBR

Figura 5: Variação da razão serviço-chegada.

composta por tráfegos CBR mostra um aproveitamento mais eficiente de recursos extras alocados.

5 Conclusão

Neste artigo foi apresentado um estudo sobre a utilização do serviço de Encaminhamento Expresso para o transporte de tráfegos de voz em um ambiente de diferenciação de serviços na Internet. Tanto tráfegos modelados por fontes On-Off quanto por fontes CBR foram utilizados. Uma comparação foi realizada entre o atendimento prestado a ambos pela implementação do serviço EF por fila prioritária (PRR) ou *weighted round-robin* (WRR). A análise foi baseada na investigação do atraso fim-a-fim e do *jitter* apresentado pelo tráfego na topologia adotada. Como mencionado, o atraso fim-a-fim deve manter-se dentro de um limite de 150ms para que a interatividade de uma conversação esteja assegurada. Em todas as simulações implementadas, os tráfegos On-Off e CBR obtiveram retardos dentro deste limite. A presença de grandes valores para o *jitter* implica na necessidade de maior capacidade de armazenamento na interface do receptor. Por este motivo, é interessante a manutenção de um baixo valor de *jitter*. No pior caso analisado (Subseção 4.1), o *jitter* do tráfego On-Off utilizando a implementação por WRR, permaneceu limitado em 20ms para 90% dos pacotes e 21ms para 99% dos pacotes. Considerando a taxa de pico do tráfego On-Off, de 64kbps, um *jitter* de 21ms representa uma capacidade de 168 octetos no *buffer* do receptor. Ou seja, um valor de *buffer* equivalente a um pacote (576 octetos) é suficiente. Este resultado evidencia o baixo *jitter* oferecido aos tráfegos pelo serviço de Encaminhamento Expresso. O uso de suavizadores para condicionar o tráfego nas interfaces de saída de suas fontes foi fundamental para a manutenção dos valores de atraso e *jitter* dentro de limites aceitáveis.

Através de simulação, foi mostrado que, em condições semelhantes, o serviço de Encaminhamento Expresso pode suportar um maior número de fluxos On-Off do que fluxos CBR com qualidade final similar. Os resultados indicam que a reserva de uma banda passante extra acima da solicitada pode ser aproveitada com mais eficiência por fluxos On-Off do que por fluxos CBR. O desempenho do primeiro melhora mais rapidamente do que o segundo com o aumento da razão entre o valor de banda passante reservada e solicitado. Assim, para uma reserva extra equivalente, o ganho de desempenho é maior em tráfegos do tipo On-Off. Este aumento de desempenho é limitado pelo desempenho apresentado pelo serviço EF quando implementado por fila prioritária. O estudo de alternativas para a melhoria de desempenho do serviço EF quando implementado por WRR justifica-se por este algoritmo estar implementado nos roteadores disponibilizados comercialmente. Desta forma, a configuração adequada de roteadores existentes atualmente pode prover o comportamento proposto pelo Encaminhamento Expresso. Este artigo contribui com diretivas para os administradores que futuramente queiram configurar roteadores para o suporte diferenciado a tráfegos de voz por meio do serviço de Encaminhamento Expresso.

A importância do condicionamento de tráfego das fontes EF para a manutenção da qualidade oferecida pelo Encaminhamento Expresso a uma agregação de fluxos foi ressaltada. Os efeitos deste condicionamento sobre fontes On-Off e CBR devem ser estudado mais profundamente. Este artigo considerou o atraso fim-a-fim entre os nós fonte e destino da topologia. Portanto, o atraso introduzido pelos condicionadores de tráfego não está presente nos resultados. A variação da capacidade de créditos dos suavizadores, permitindo a passagem de algumas rajadas de tráfego, implica em alteração do desempenho obtido pelas fontes. Para trabalhos futuros, planeja-se investigar o atraso introduzido por estes suavizadores de tráfego e o efeito causado sobre os tráfegos On-Off e CBR pela variação da capacidade de créditos nos suavizadores.

Referências

[1] C. Lefelhocz, B. Lyles, S. Shenker e L. Zhang, "Congestion control for best-effort service: Why we need a new paradigm", *IEEE Network*, vol. 10, no. 1, pp. 10–19, janeiro de 1996.

[2] D. D. Clark, "Adding service discrimination to the Internet", relatório técnico, MIT, setembro de 1995.

[3] R. Braden, D. D. Clark e S. Shenker, "Integrated services in the Internet architecture: an overview", *Internet RFC 1633*, junho de 1994.

[4] L. Zhang, S. E. Deering, D. Estrin, S. Shenker e D. Zappala, "RSVP: A new resource reservation protocol", *IEEE Network*, vol. 7, no. 5, pp. 8–18, setembro de 1993.

[5] R. Braden, L. Zhang, S. Berson, S. Herzog e S. Jamin, "Resource reservation protocol (RSVP) – version 1 functional specification", *Internet RFC 2205*, setembro de 1997.

[6] P. P. White, "RSVP and integrated services in the Internet: A tutorial", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 5, pp. 100–106, maio de 1997.

[7] S. Blake, D. L. Black, M. Carlson, E. Davies, Z. Wang e W. Weiss, "An architecture for differentiated services", *Internet RFC 2475*, dezembro de 1998.

[8] F. Baumgartner, T. Braun e P. Habergger, "Differentiated services: A new approach for quality of service in the Internet", in *Proceedings of the 8th IFIP Conference on High Performance Networking – HPN'98*, setembro de 1998.

[9] H. Naser, A. Leon-Garcia e O. Aboul-Magd, "Voice over differentiated services", *Internet Draft*, dezembro de 1998. `draft-naser-voice-diffserv-eval-00`.

[10] V. Jacobson, K. Nichols e K. Poduri, "An expedited forwarding PHB", *Internet Draft*, novembro de 1998. `draft-ietf-diffserv-phb-ef-01`.

[11] K. Nichols, S. Blake, F. Baker e D. L. Black, "Definition of the differentiated services field (DS field) in the IPv4 and IPv6 headers", *Internet RFC 2474*, dezembro de 1998.

[12] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss e J. Wroclawski, "Assured forwarding PHB group", *Internet Draft*, janeiro de 1999. `draft-ietf-diffserv-af-04`.

[13] B. G. Kim e B.-K. Kim, "Simulation study of weighted round-robin queueing policy", *Proceedings of Technical Conference on Telecommunications R&D*, outubro de 1994.

[14] Network Simulator - NS (version 2). `http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/`.

[15] D. D. Clark e W. Fang, "Explicit allocation of best effort packet delivery service", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 4, pp. 362–373, agosto de 1998.