Avaliando o Suporte ao Tráfego de Voz em um Ambiente de Diferenciação de Serviços*

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/EE
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Caixa Postal 68504 - CEP 21945-970 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Resumo

Este artigo avalia a influência mútua dos esquemas de Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding* – EF) e Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding* – AF) em um ambiente de Diferenciação de Serviços (DS) quando utilizados para o transporte de fluxos de voz. Os resultados mostram que permitir rajadas controladas de tráfego EF em um domínio DS não aumenta significativamente o atraso e o *jitter* do tráfego AF, desde que os períodos ociosos do tráfego EF não se tornem escassos. Os resultados também demonstram que tamanhos diferentes de pacotes no tráfego de melhor esforço exercem uma maior influência no atraso dos pacotes AF do que no atraso dos pacotes EF.

Abstract

This paper evaluates the mutual influence of the Expedited Forwarding (EF) and Assured Forwarding (AF) schemes in a Differentiated Services (DS) environment when transporting voice flows. Results show that allowing controlled EF traffic bursts into a DS domain does not significantly increase the delay and jitter of the AF traffic if the idle periods from EF traffic do not become scarce. We also show that different best-effort packet sizes exert a stronger influence on the delay of AF packets than on the delay of EF packets.

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

1 Introdução

A Internet atual baseia-se no modelo de melhor esforço onde todos os pacotes são tratados igualmente. Como conseqüência, esse modelo não provê quaisquer garantias para alcançar as diversas expectativas de Qualidade de Serviço (*Quality of Service* – QoS) que estão surgindo conforme a Internet evolui em direção a uma rede com múltiplos serviços que suporte as novas aplicações multimídias [1, 2]. Essas aplicações requerem serviços de rede que garantam uma determinada quantidade de banda passante, um atraso máximo ou variações mínimas no tempo entre chegadas de pacotes consecutivos (*jitter*). Portanto, há uma demanda crescente para a extensão da arquitetura Internet com mecanismos de diferenciação de serviços para permitir que alguns usuários e algumas aplicações possam receber um melhor serviço, diferenciado-os dos demais, por um custo maior [3, 4, 5].

Visando atender esta demanda, o IETF (*Internet Engineering Task Force*) propõe a arquitetura de Diferenciação de Serviços (DiffServ ou DS) [6, 7]. A diferença chave entre a arquitetura de Integração de Serviços (*IntServ*) [8, 9, 10], proposta anteriormente, e a arquitetura DS é a escalabilidade. Enquanto a arquitetura IntServ propõe uma QoS fim-a-fim estabelecida por fluxo, a proposta DS provê uma diferenciação de serviços duradoura entre agregações de tráfego de diferentes usuários. A arquitetura DS alcança escalabilidade reduzindo o número de estados e a complexidade de seus mecanismos no núcleo da rede. Assim, os roteadores do núcleo mantêm um estado por agregação contrastando com um estado por fluxo na proposta IntServ. A complexidade de tratar individualmente fluxos é mantida nas fronteiras da rede [11]. Ao conjunto contíguo de nós compatíveis com a arquitetura DS que opera com um conjunto comum de políticas de provisão de serviços atribui-se o nome de domínio DS.

No interior de um domínio DS, as agregações de tráfego são encaminhadas de acordo com comportamento por salto (*Per-Hop Behavior* – PHB). O PHB é selecionado através de um mapeamento entre um código que identifica a agregação e o comportamento que esta espera receber. O serviço recebido por uma agregação de tráfego dentro de um domínio DS resulta da combinação de todos os PHBs ao longo de seu caminho no interior deste domínio.

Atualmente dois PHBs estão padronizados pela comunidade de pesquisa em diferenciação de serviços: o PHB de Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding* – EF) [12] e o PHB de Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding* – AF) [13]. Embora artigos recentes [14, 15, 16] analisem aspectos distintos da arquitetura de Diferenciação de Serviços, a transmissão de tráfego de voz sobre um domínio DS permanece pouco explorada. As estruturas propostas para telefonia Internet [17] sugerem a adoção de mecanismos de diferenciação de serviços para o encaminhamento de seus fluxos de voz. Naser *et al.* [18] analisam o tráfego de voz transmitido sobre a estrutura original de Serviços Diferenciados [19]. Em trabalhos anteriores [20, 21], foi analisado o desempenho do tráfego de voz encaminhado somente pelo PHB EF.

Este trabalho avalia a influência mútua dos PHBs EF e AF quando usados para o transporte de tráfegos de voz. Os resultados apresentados estendem os obtidos em [22] para agregações de tráfego com um maior número de fluxos. Observa-se que para agregações com um maior número de fluxos, o atraso individual de retenção dos pacotes nos suavizadores que condicionam o tráfego decai significativamente.

O artigo está estruturado da seguinte forma. A seção 2 discute os conceitos básicos da arquitetura de Diferenciação de Serviços, apresentando os mecanismos que permitem implementar os PHBs de Encaminhamento Expresso (EF) e de Encaminhamento Assegurado (AF). Também são mostrados os meios que permitem a convivência de ambos os PHBs em um mesmo domínio DS. Na seção 3, são abordadas os principais parâmetros envolvidos na provisão de QoS para tráfegos de voz. A seção 4 descreve os modelos adotados nas simulações realizadas e discute os resultados obtidos. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho.

2 Diferenciação de Serviços

Cada roteador compatível com a arquitetura DS mapeia um código identificador de agregação em um PHB [6]. Esse PHB define o tratamento a ser oferecido ao pacote até o momento de seu encaminhamento ou descarte em cada nó. Os roteadores de ingresso em um domínio DS precisam possuir informação suficiente para classificar individualmente um fluxo. Ou seja, pacotes pertencentes a um determinado fluxo podem ser classificados e marcados com o código correspondente a uma determinada agregação de fluxos. Em resumo, existe um estado por fluxo nas fronteiras do domínio DS e um estado por agregação no interior do domínio DS. O serviço fim-a-fim obtido por uma agregação em um domínio DS é o resultado da combinação dos PHBs recebidos ao longo da trajetória da agregação pelo interior do domínio.

2.1 O Encaminhamento Expresso

O PHB de Encaminhamento Expresso garante que uma determinada banda passante da rede é reservada para o atendimento de uma agregação de fluxos a cada nó compatível com a arquitetura DS. Portanto, o PHB EF pode ser utilizado para a construção de um serviço de baixa perda, baixo atraso e baixo *jitter* através de domínios DS. As filas ao longo do caminho são as principais responsáveis pelo descarte de pacotes, atraso e *jitter* encontrados pelo tráfego em sua trajetória pela rede. Baseado neste fato, o objetivo principal do PHB EF é reduzir o tempo de permanência em filas por pacotes pertencentes à agregação EF enquanto no interior de um domínio DS.

A taxa de serviço a cada nó alocada à agregação EF é dada por um valor mínimo bem definido, independente da intensidade dos outros tráfegos transitando por este nó. Para alcançar este objetivo, os roteadores de ingresso precisam condicionar o tráfego EF que chega ao domínio DS. Esses mecanismos de condicionamento devem assegurar que a taxa de chegada da agregação EF aos nós interiores esteja compatível com a taxa de serviço contratada. O condicionamento de tráfego inclui suavização, descarte de pacotes e marcação de pacotes de acordo com um perfil de serviço.

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) [23]. A fatia de serviço alocada à fila que atende a agregação EF deve ser correspondente à taxa de serviço contratada.

2.2 O Encaminhamento Assegurado

O serviço assegurado é o serviço oferecido por um domínio DS que implementa o PHB de Encaminhamento Assegurado (*Assured Forwarding* – AF). O modelo de serviço assegurado não baseia-se em uma garantia estrita de serviço, mas sim em uma expectativa de serviço a ser obtida em períodos de congestionamento. Um perfil associado a cada tráfego define o serviço esperado por este. Um mecanismo de policiamento atua nas fronteiras do domínio DS de forma a marcar os pacotes em conformidade com este perfil. O descarte será prioritário para os pacotes marcados como não-conformes, enquanto que o tráfego que esteja em conformidade recebe níveis de serviço previsíveis. Conforme os pacotes são encaminhados pela rede e agregados a outros fluxos os roteadores na fronteira de outras regiões somente policiam esta agregação de fluxos. Uma implementação do PHB AF visa minimizar os congestionamentos duradouros, porém permite congestionamentos curtos resultantes de rajadas. Isto é, o mecanismo de gerenciamento de filas deve detectar e reagir a congestionamentos duradouros dentro de cada classe e tolerar rajadas de pacotes que provocam congestionamentos curtos. Tal comportamento pode ser obtido por um mecanismo de gerenciamento ativo de filas como o RED (*Random Early Detection*) [24].

O RED é implementado nos roteadores e projetado para atuar em conjunto com o protocolo TCP. Através do RED é realizada a monitoração do tamanho da fila no roteador e caso hajam sinais de um congestionamento iminente, as fontes são notificadas de forma implícita pelo descarte de um de seus pacotes. Quando um roteador RED utiliza uma fila FIFO, ao invés de esperar que a fila se torne completamente cheia, o que implica no descarte de todos os pacotes que chegam, ele decide descartar cada novo pacote com uma certa probabilidade sempre que o tamanho da fila exceda um determinado nível. O roteador computa o tamanho médio da fila ($avglen$) utilizando uma média ponderada por uma variável q_{weight} de maneira similar àquela utilizada na computação dos temporizadores do TCP. A variável q_{weight} determina a tolerância do roteador RED às rajadas de longa duração. Ou seja, quanto maior for o q_{weight}, maior será o peso do tamanho instantâneo da fila no cálculo do novo valor do $avglen$. O RED utiliza dois patamares para determinar a probabilidade de descarte do próximo pacote a chegar na fila: min_thresh e max_thresh. Enquanto o tamanho médio da fila ($avglen$) permanecer abaixo de min_thresh, todos os pacotes que chegam ao roteador são aceitos na fila. Quando $avglen$ está entre os dois patamares, há uma probabilidade p do novo pacote ser descartado, onde p é uma função de $avglen$ e do tempo decorrido desde o descarte do último pacote. Se $avglen$ ultrapassa o limite max_tresh, todos os próximos pacotes serão descartados até a média de ocupação da fila se reduzir. Devido a probabilidade do roteador RED decidir descartar um pacote ser proporcional à parcela de ocupação deste fluxo na fila do roteador, quanto mais pacotes um fluxo enviar, maior será a probabilidade que um de seus pacotes seja descartado. A probabilidade de descarte tem seu limite superior determinado pelo parâmetro RED P_{max}.

O gerenciamento ativo de *buffers* nos roteadores intermediários que implementam o serviço de Encaminhamento Assegurado é normalmente realizado pela adoção de dois algoritmos RED: um para pacotes que estão em conformidade com o perfil de tráfego definido e outro para os pacotes não-conformes. Este mecanismo é conhecido por RIO (RED com *IN* e *OUT*) [25]. O segundo mecanismo RED é configurado de forma mais agressiva que o primeiro, visando o descarte prioritário de pacotes *OUT*. O mecanismo RIO contabiliza o tamanho médio da fila para pacotes *IN* (avg_{IN}) e também o tamanho médio da fila considerando-se tanto pacotes *IN* como *OUT* (avg_{TOTAL}). A probabilidade de descarte de um pacote *IN* é função de avg_{IN}, enquanto a probabilidade de descarte

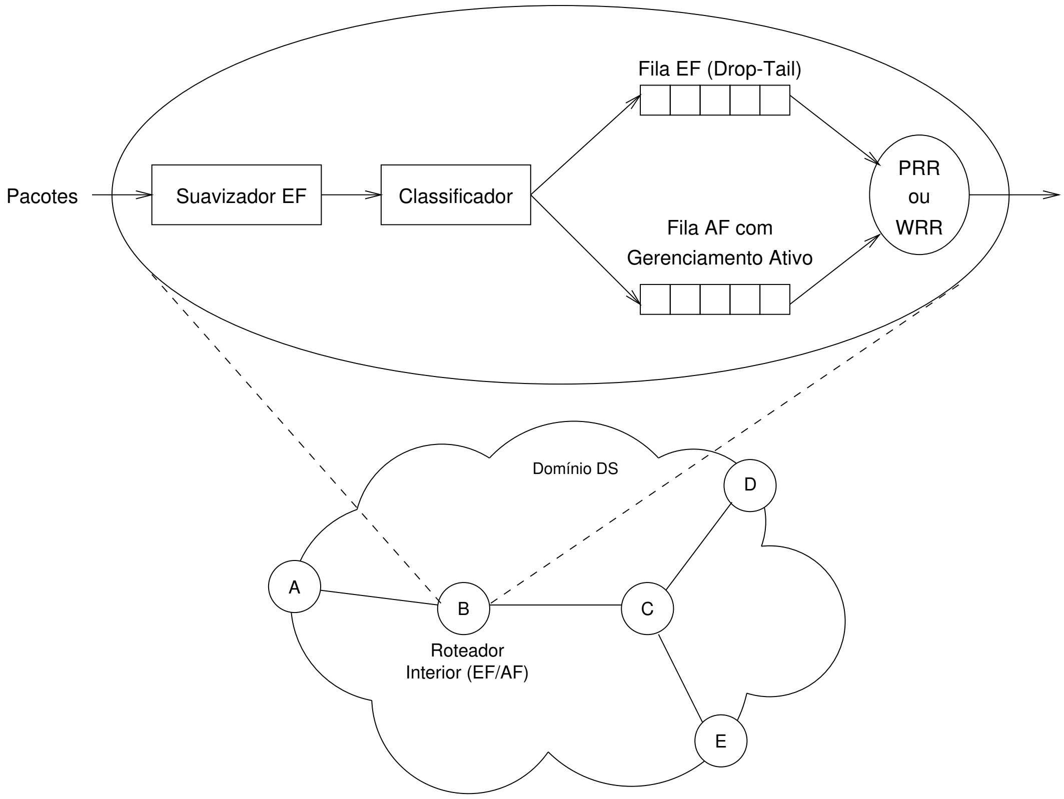


Figura 1: Implementação conjunta dos PHBs EF e AF.

de um pacote *OUT* é função de avg_{TOTAL}. A escolha adequada dos parâmetros (min_{IN}, max_{OUT}, P_{maxIN}) e (min_{OUT}, max_{OUT}, P_{maxOUT}) provê uma discriminação contra os pacotes *OUT*. Essencialmente, há o descarte inicial de pacotes *OUT* quando um congestionamento iminente é detectado 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 numa rede bem dimensionada não deve ocorrer.

2.3 PHBs EF e AF em um Mesmo Domínio DS

A convivência de ambos os PHBs em um mesmo domínio é possível e pode ser realizada como na figura 1. A fila dedicada à agregação EF recebe tratamento prioritário, no caso de escalonamento por PRR, ou uma fatia do enlace de saída que não viole a definição do PHB EF, no caso de escalonamento por WRR. No caso de WRR, a fila AF recebe o restante do enlace de saída. A diferenciação na fila AF é realizada pelo mecanismo de gerenciamento ativo de filas empregado, através de níveis diferentes de precedência para descarte e, possivelmente, do cálculo diferenciado das médias de ocupação de fila para cada classe. O tráfego de melhor esforço, que não é atendido por nenhum PHB em especial e não possui qualquer expectativa de serviço, segue pela fila AF com o maior valor de precedência de descarte possível. Neste artigo, a fila AF recebe o tráfego AF com pacotes marcados como *IN* e *OUT*, assim como o tráfego de melhor esforço marcado como *OUT*.

Um serviço que pode ser oferecido pela arquitetura DS é o tráfego diferenciado de pacotes de voz. Esse tráfego, que surge nas aplicações multimídias em desenvolvimento, possui requisitos de QoS que raramente podem ser atendidos na Internet atual. Na seção seguinte, são apresentados os parâmetros de QoS pertinentes à mídia voz.

3 Qualidade de Serviço para Tráfegos de Voz

Nos últimos anos, a possibilidade de prover serviços telefônicos em larga escala pela Internet despertou grande interesse da comunidade científica. A telefonia IP ou telefonia Internet [26] promete ser o último passo para uma infra-estrutura telefônica completamente baseada em pacotes e marca a convergência da tradicional indústria de telecomunicações e da comunidade Internet. Diferentes arquiteturas para alcançar esse objetivo em termos de gerenciamento de recursos, sinalização das chamadas e compatibilidade com o sistema telefônico existente estão em discussão [17, 27, 28]. Algumas das estruturas propostas [17] sugerem a adoção dos mecanismos da arquitetura DS como base para o encaminhamento com qualidade dos fluxos de voz.

Os parâmetros de QoS relevantes para o tráfego de voz, incluindo a telefonia Internet, são o atraso, a variação deste atraso (*jitter*) e a taxa de perda de pacotes. Esses parâmetros refletem a continuidade de um fluxo de voz. Dada a natureza de interatividade do serviço telefônico, o atraso é o fator mais crítico [29, 30]. O atraso do fluxo de voz na Internet consiste em três componentes: atraso de geração do pacote, o atraso de propagação e o atraso em filas. O atraso de geração é o tempo necessário para amostrar a voz e gerar um pacote de voz que contenha a representação desta amostra. O atraso de propagação representa o tempo de transmissão dos pacotes nos enlaces da rede, sendo o mesmo para todos os pacotes. O atraso em filas engloba o tempo gasto pelo pacote de voz aguardando o seu encaminhamento nos nós intermediários da rede. O atendimento diferenciado nos nós intermediários pode diminuir o tempo gasto em filas pelos pacotes de voz e, conseqüentemente, o atraso total do fluxo de voz. Em [31], é classificada a viabilidade de operação das aplicações de voz em função do atraso em um único sentido dos fluxos de voz. Essa classificação está reproduzida na tabela 1.

Tabela 1: Viabilidade das aplicações em função do atraso da voz em um sentido.

Atraso da Voz	**Viabilidade**
até 150 ms	Aceitável para a maioria das aplicações
entre 150 e 400 ms	Aceitável se os usuários estiverem conscientes do impacto do atraso na interatividade das aplicações
mais de 400 ms	Inaceitável para a manutenção de interatividade

Neste trabalho, supõe-se que para a manutenção da interatividade em uma conversação normal, o atraso fim-a-fim em uma direção deve estar abaixo de 150 ms. Um pequeno *jitter* também é desejável, pois reduz a necessidade de capacidade de armazenamento nos receptores de forma a compensar estas variações no atraso. Baixas taxas de perda também são desejáveis para a sustentação da continuidade dos fluxos de voz.

4 Resultados de Simulação

Este trabalho avalia o desempenho de fluxos de voz transportados simultaneamente por um domínio DS que implementa tanto o PHB EF quanto o PHB AF. O desempenho desses tráfegos de voz é avaliado em relação ao atraso, *jitter* e taxa de perda de pacotes de seus fluxos ao atravessarem um domínio DS. São destacados os compromissos existentes na adoção simultânea dos PHBs EF e AF no mesmo domínio DS para o tratamento diferenciado dos fluxos de voz.

As simulações foram realizadas com a ferramenta ns-2 [32, 33]. 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. Todos os resultados mostrados a seguir possuem um intervalo de confiança 90% com limites de no máximo ±10% em torno do valor apresentado.

4.1 Modelo de Simulação

O cenário de rede adotado nas simulações realizadas é apresentado na figura 2. Um determinado número de fluxos de voz é encaminhado através de um domínio DS ou pelo PHB EF ou pelo PHB AF. Ao longo deste caminho, o tráfego EF é suavizado e resuavizado de forma a permanecer de acordo com a taxa contratada e não violar a definição do PHB EF. Além destes fluxos, o enlace de gargalo recebe tráfegos concorrentes compostos por fluxos de voz e fluxos de dados. Esses fluxos são encaminhados como pacotes de melhor esforço e são marcados como *OUT*. Portanto, eles competem por recursos com os pacotes AF não-conformes.

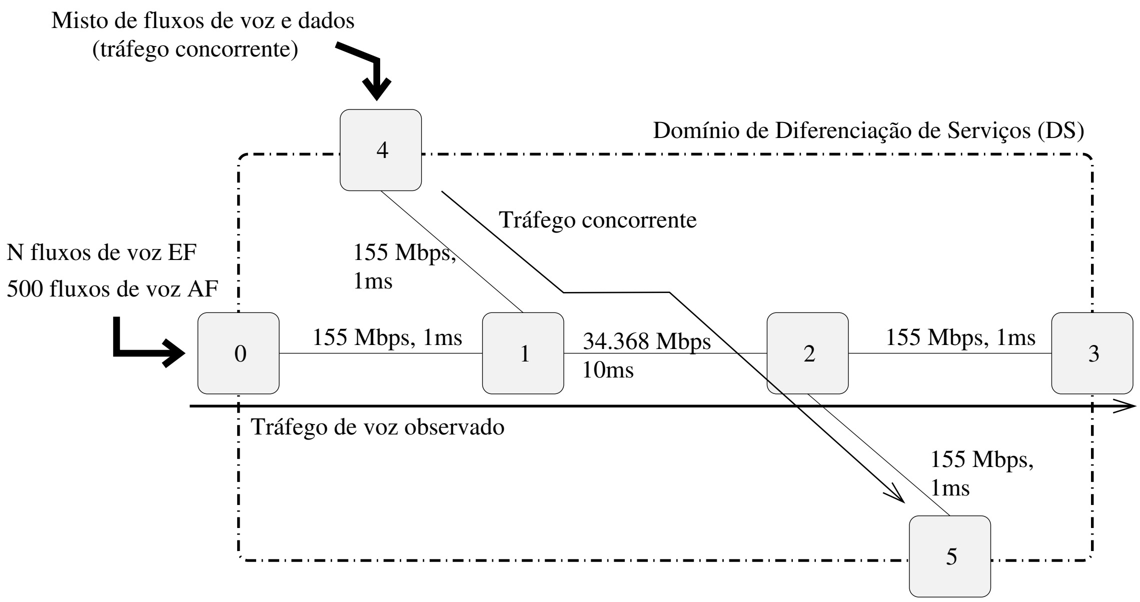


Figura 2: Cenário de rede adotado nas simulações.

Uma única fonte de voz pode ser representada por um processo de dois estados. A fala humana consiste em uma seqüência alternada de intervalos de atividade (*talk spurt*) seguidos por intervalos de silêncio [34]. Nas simulações realizadas, as fontes, tanto EF quanto AF, geram tráfego de voz seguindo o modelo de atividade-silêncio (On-Off). O intervalo de atividade (On) de cada fonte é determinado por uma variável aleatória exponencialmente distribuída de média 400 ms, onde é gerado tráfego de voz a uma taxa de 64 kbps. Os períodos de silêncio (Off) também são exponencialmente distribuídos de acordo com uma variável aleatória de média 600 ms. Logo, a taxa média de transmissão destas fontes é de 25,6 kbps. Os pacotes gerados pelas fontes On-Off possuem 576 octetos. As fontes de voz que geram o tráfego concorrente seguem os mesmos parâmetros. As fontes TCP utilizam a implementação do TCP-Reno que adiciona o mecanismo de recuperação rápida aos mecanismos de controle de congestionamento originais do TCP. O tráfego TCP é gerado por aplicações FTP ativas durante toda a simulação.

Cada nó pertencente ao interior do domínio DS possui duas filas (EF e AF-BE) servidas por um escalonador WRR, em uma estrutura equivalente àquela apresentada na figura 1. A primeira fila é uma fila FIFO que recebe tráfego EF. A segunda é uma fila com gerenciamento ativo implementado pelo esquema RIO que recebe tanto a agregação AF (pacotes *IN* e *OUT*) e o tráfego de melhor esforço (somente pacotes marcados como *OUT*). O escalonador WRR aloca uma fatia da banda passante de saída para cada uma das filas. A fatia de serviço alocada para a agregação EF deve ser suficiente para sustentar a definição do PHB EF a qualquer momento.

4.2 Suavizadores e Marcadores

Quando se utiliza o escalonamento WRR para servir as filas, torna-se necessário o condicionamento de tráfego aplicado à agregação EF no domínio DS de acordo com a fatia de serviço alocada à esta agregação. De forma a permitir que a fatia reservada seja inferior à taxa de pico da agregação EF, tal agregação precisa ser suavizada. A suavização do tráfego EF permite controlar, ou mesmo suprimir, rajadas do tráfego agregado. Quando um mecanismo de balde de créditos (*token-bucket*) é utilizado, a profundidade do balde limita o tamanho permitido de rajada. Se a profundidade do balde é equivalente a um pacote, as rajadas são completamente suprimidas. Nesse caso, a fatia de serviço do escalonador WRR alocada à agregação EF pode permanecer igual à taxa de reposição de créditos no suavizador, isto é, menor que a taxa de pico da agregação.

Entretanto, a suavização implica em um atraso adicional para os pacotes retidos no *buffer* de suavização. Se a profundidade do balde no suavizador é maior do que o equivalente a um pacote, a fatia de serviço reservada pelo WRR para o tráfego EF precisa ser igual a soma das taxas de pico individuais. Além disto, devido a característica de conservação de trabalho (*work-conserving*) do escalonador WRR, quando o tráfego EF está ocioso as agregações restantes usam a banda passante inicialmente alocada para o tráfego EF.

A suavização do tráfego EF é implementada por um mecanismo de balde de créditos associado a um *buffer* no entrada do domínio DS e nos nós compatíveis com DS no interior do domínio. Nas simulações realizadas, as rajadas de tráfego de voz são completamente suprimidas pela configuração da profundidade do balde para o equivalente a um pacote. Primeiro, foi investigado o atraso introduzido pelo suavizador de tráfego em uma agregação de fluxos. A taxa de suavização individual por fluxo é definida como a taxa resultante que seria obtida por cada componente da agregação se estes fossem igualmente afetados pela suavização da agregação. Portanto, a taxa de reposição de créditos adotada no suavizador da agregação de tráfego EF é o produto da taxa de suavização individual por fluxo e o número de fluxos EF ativos. A figura 3 mostra o atraso de um fluxo de referência componente de uma agregação formada por um diferente número de fluxos que é suavizada à uma taxa de suavização individual por fluxo de 30 kbps. A figura apresenta a média e o percentil 99 do atraso na fila do suavizador. O percentil 99 indica que 99% dos pacotes obtêm um atraso inferior ao valor correspondente. Conforme o número de fluxos de voz ativos na agregação aumenta, o atraso individual drasticamente decai devido ao crescente ganho estatístico alcançado em agregações maiores.

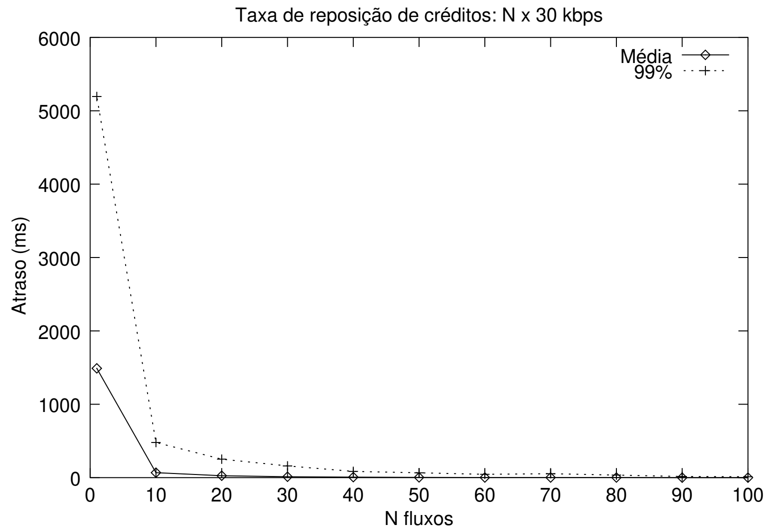


Figura 3: Atraso no suavizador agregado.

Os pacotes gerados pelas fontes AF são marcados de acordo com um perfil de tráfego contratado. Essa marcação é executada por marcadores localizados nas fontes ou nas fronteiras do domínio DS. No primeiro caso, um policiador para a agregação AF, localizado na entrada do domínio DS, deve ser responsável pela remarcação de pacotes se, a qualquer momento, a agregação AF exceder a soma dos perfis de tráfego individuais. Neste artigo, os marcadores são implementados como mecanismos de balde de créditos. Os pacotes que estiverem em desacordo com o perfil de tráfego individual contratado são marcados como *OUT*, do contrário eles são marcados como *IN*. Esses marcadores estão localizados junto às fontes e um policiador na fronteira do domínio DS controla a agregação AF. Os pacotes não-conformes da agregação AF são remarcados como *OUT* e encaminhados para o domínio DS onde competirão por recursos com o tráfego de melhor esforço.

Os marcadores são configurados para que 90% dos pacotes gerados pelas fontes AF sejam marcados como *IN*. Os demais pacotes são marcados como *OUT*. Para obter a profundidade do balde do marcador que realiza a marcação descrita, a seguinte simulação foi executada. A taxa de reposição dos créditos no balde é mantida em 25,6 kbps, enquanto a profundidade do balde varia do equivalente a 1 pacote até 40 pacotes. A figura 4 mostra que 90% dos pacotes são marcados como *IN* quando o balde do marcador possui uma profundidade equivalente a 71820 bits. Esse resultado é utilizado na configuração dos marcadores localizados junto às fontes de tráfego AF e também do policiador agregado. Os recursos alocados no interior do domínio DS consideram que os pacotes *IN* do tráfego AF correspondem a 90% do total do tráfego AF que chega ao domínio.

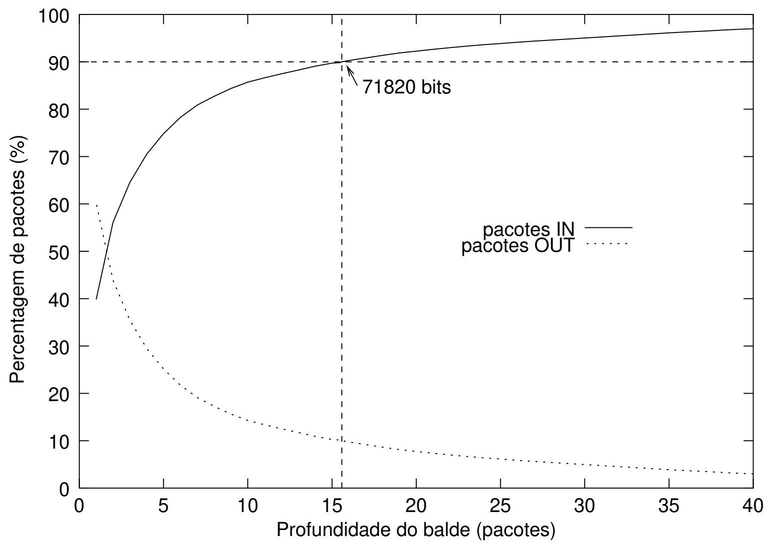


Figura 4: Efeito da profundidade do balde na marcação de pacotes.

4.3 Tráfego de Voz

Esta seção avalia o desempenho de fluxos de voz transportados pelos PHBs EF e AF quando estes estão simultaneamente disponíveis no mesmo domínio DS. O gerenciamento ativo da fila AF-BE é realizado pelo algoritmo RIO. A discriminação dos pacotes *OUT* em relação aos pacotes *IN* é alcançada pela seleção adequada dos parâmetros do RIO. Nas simulações realizadas, os roteadores do domínio DS implementam o algoritmo RIO com [100, 150, 0.002, 0.02][1] para os pacotes *IN* e [50, 100, 0.004, 0.1] para os pacotes *OUT*. Esses parâmetros discriminam os pacotes *OUT*, evitando o descarte de pacotes *IN* em períodos de congestionamento. O tamanho da fila AF-BE é equivalente a 200 pacotes.

A variação da taxa de suavização individual por fluxo usada na configuração do suavizador da agregação EF implica na modificação das fatias de serviço alocadas para cada agregação pelo escalonador WRR no interior de um domínio DS. Quanto maior a taxa de reposição de créditos no suavizador da agregação EF, maior deve ser a fatia de serviço dedicada a atender o tráfego EF, de forma a manter válida, a qualquer momento, a definição do PHB EF. Conseqüentemente, a outra fatia de serviço dedicada aos demais tráfegos é diminuída. O objetivo da simulação seguinte é avaliar o atraso de fluxos de voz no interior do domínio DS quando estes utilizam o PHB EF ou o PHB AF. Esse atraso inclui o atraso introduzido pelos suavizadores agregados localizados ao longo da trajetória do tráfego no interior do domínio DS.

A figura 5 mostra o atraso médio de dois fluxos de referência, um EF e outro AF. O percentil 99 de cada fluxo também é apresentado. Existem 250 fluxos de voz EF e 500 fluxos de voz AF além do tráfego concorrente. A taxa de suavização individual por fluxo do suavizador agregado EF é variada. O aumento na taxa de suavização individual por fluxo reduz discretamente o atraso da agregação EF. Esse aumento implica na redução da fatia de serviço alocada no escalonador WRR para o atendimento da agregação AF. No entanto, o atraso da agregação AF não aumenta significativamente mesmo para uma taxa de suavização individual por fluxo de 60 kbps, próxima da taxa de pico individual. Isto

[1] [min_thresh, max_thresh, q_{weight}, P_{max}]

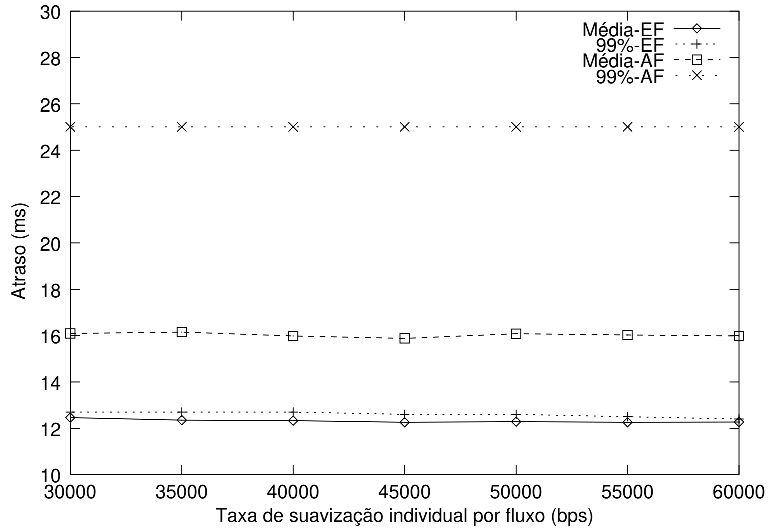


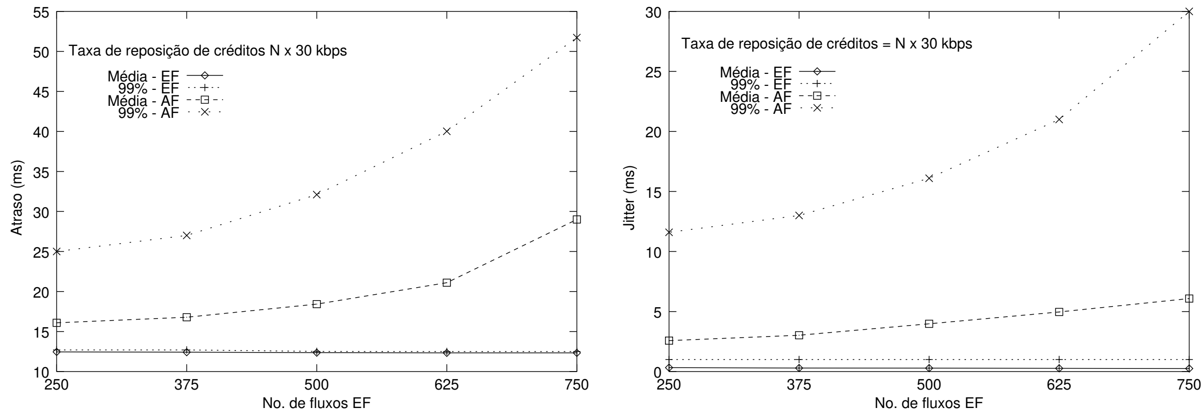
Figura 5: Atraso dos fluxos EF e AF com a variação da taxa de suavização individual por fluxo dos suavizadores agregados.

ocorre porque quando a agregação EF consome uma taxa de suavização individual por fluxo de 60 kbps, aproximadamente metade da capacidade do enlace de gargalo, ainda existe banda passante suficiente para o transporte dos fluxos de voz AF. Além disso, quando o tráfego de voz EF está ocioso, a fila AF-BE é atendida devido à conservação de trabalho inerente ao escalonador WRR. Não há perdas de pacotes EF ou AF. O *jitter* observado é menor que 1 ms para 99% dos pacotes EF e menor que 12 ms para 99% dos pacotes AF.

Se a taxa de suavização individual por fluxo for mantida constante, mas o número de fluxos de voz ativos atendidos pelo PHB EF variar, a fatia de serviço do WRR deve ser ajustada para garantir que a definição do EF seja preservada. Na próxima simulação, a taxa de suavização individual por fluxo é mantida em 30 kbps e o número de fluxos que compõe a agregação EF varia de 250 a 750 fluxos. As fatias de serviço do escalonador WRR alocadas para o atendimento de cada agregação são ajustadas de acordo. A figura 6 apresenta resultados onde a fatia de serviço alocada para a agregação EF aumenta como na simulação anterior. Porém, nessa situação há mais fluxos de voz EF que utilizam esta reserva. Portanto, a agregação AF, composta pelos mesmos 500 fluxos de voz, encontra menos períodos de ociosidade da agregação de tráfegos EF. Quando aumenta-se o número de fluxos de voz EF ativos, o fluxo EF de referência observa aproximadamente o mesmo atraso. Os fluxos AF, contudo, são penalizados, pois eles contam com uma porção de banda passante menor e, ainda, com menos períodos de ociosidade do tráfego EF.

A variação do número de fluxos EF também influencia significativamente a taxa de perda de pacotes AF não-conformes, como ilustrado na figura 7. Essa influência ocorre, pois se a redução na fatia de serviço alocada ao tráfego AF causar congestionamentos na fila AF-BE, o tráfego de melhor esforço e os pacotes AF não-conformes (pacotes *OUT*) têm precedência no descarte. Nas simulações realizadas, não houve descarte de pacotes EF ou pacotes AF *IN*.

A próxima simulação investiga a influência do tamanho do pacote do tráfego TCP concorrente no atraso do tráfego de voz EF e AF. Como mostrado na figura 8, o atraso dos pacotes AF depende do tamanho dos pacotes TCP encaminhados pelo serviço de me-



(a) Atraso (ms) (b) Jitter (ms)

Figura 6: Desempenho dos fluxos EF e AF com a variação do número de fluxos EF ativos.

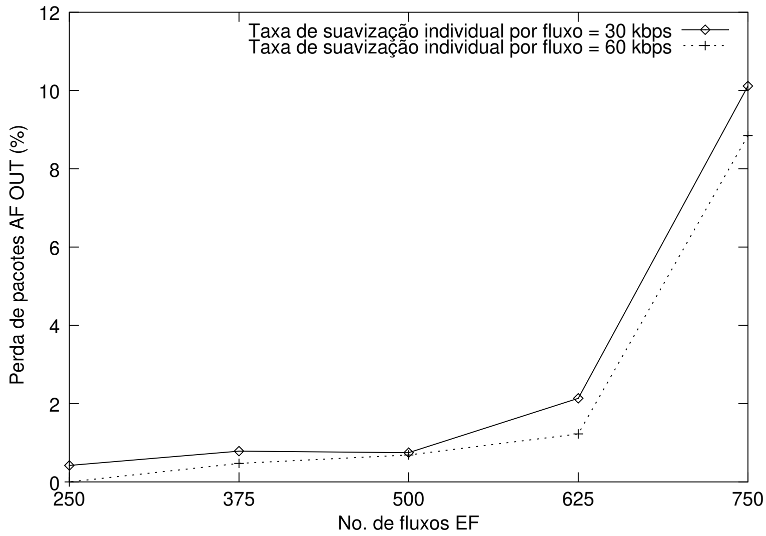


Figura 7: Taxa de perda dos pacotes AF *OUT*.

lhor esforço. A razão dessa influência é o compartilhamento da fila AF-BE. Sempre que o RIO, o algoritmo de gerenciamento ativo desta fila, aceita um pacote (*IN* ou *OUT*) na fila, este pacote não pode mais ser descartado e não existe a possibilidade de reordenamento de pacotes na fila. Logo, os pacotes aceitos na fila precisam esperar o encaminhamento de todos os pacotes que estejam à sua frente para que possam ser encaminhados. Quanto maior forem os pacotes TCP, maior a espera dos pacotes de voz AF pelo seu encaminhamento. O atraso dos pacotes EF, contudo, não é significativamente afetado pelo tamanho dos pacotes TCP, pois a agregação EF utiliza uma fatia de serviço WRR exclusiva. A tabela 2 apresenta o atraso médio do fluxo de referência EF para os diferentes tamanhos de pacotes TCP.

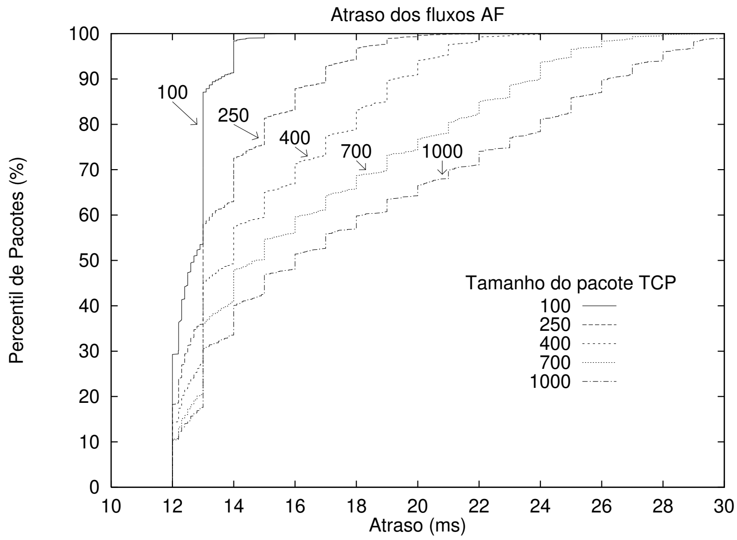


Figura 8: Atraso dos fluxos AF variando-se o tamanho dos pacotes TCP.

Tabela 2: Atraso médio dos fluxos EF para diferentes tamanhos de pacotes TCP.

Tamanho do pacote TCP (octetos)	Atraso médio do fluxo EF (ms)
100	12,2735
250	12,2963
700	12,3040
1000	12,3244

5 Conclusão

Este artigo avalia o serviço oferecido a fluxos de voz pelos PHBs de Encaminhamento Expresso e Encaminhamento Assegurado, quando estes são simultaneamente implementados em um mesmo domínio DS. O aumento da taxa de reposição de créditos no suavizador da agregação EF implica em uma maior fatia de serviço para esta agregação no interior do domínio DS. Entretanto, esse aumento não influencia significativamente o tráfego AF, enquanto a agregação AF puder utilizar a banda passante disponível nos períodos de ociosidade do tráfego EF. Quando esses períodos tornam-se escassos, pela presença de mais fluxos de voz EF, a agregação AF é penalizada em termos de atraso, *jitter* e descarte de pacotes. Devido ao compartilhamento da mesma fila com o tráfego de melhor esforço, a agregação AF sofre uma maior influência no atraso do que a agregação EF, quando o TCP utiliza pacotes de tamanho maior. Pode-se concluir que existe um compromisso entre as fatias de serviço alocadas para cada PHB no escalonador WRR. Esse compromisso define a influência mútua entre esses PHBs. Um volume extra de fluxos de voz EF pode ser permitido no domínio DS, enquanto o desempenho do fluxos de voz AF se mantiver em limites toleráveis.

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 1996.

[2] X. Xiao e L. Ni, "Internet QoS: the big picture", *IEEE Network*, vol. 13, no. 2, pp. 1–13, março 1999.

[3] D. D. Clark, "Adding service discrimination to the Internet", tech. rep., MIT, setembro 1995.

[4] S. Shenker, "Fundamental design issues for the future Internet", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 7, pp. 1176–1188, setembro 1995.

[5] Z. Fan e E. S. Lee, "Pricing for differentiated Internet services", *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1718, pp. 365–370, 1999.

[6] 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 1998.

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

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

[9] J. Wroclawski, "Specification of the controlled-load network element service", *Internet RFC 2211*, setembro 1997.

[10] S. Shenker, C. Partridge e R. Guerin, "Specification of guaranteed quality of service", *Internet RFC 2212*, setembro 1997.

[11] R. Guérin, L. Li, S. Nadas, P. Pan e V. Peris, "The cost of QoS support in edge devices: An experimental study", in *Proceedings of INFOCOM'99*, março 1999.

[12] V. Jacobson, K. Nichols e K. Poduri, "An expedited forwarding PHB", *Internet RFC 2598*, junho 1999.

[13] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss e J. Wroclawski, "Assured forwarding PHB group", *Internet RFC 2597*, junho 1999.

[14] J. F. de Rezende, "Assured service evaluation", in *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference - GLOBECOM'99*, vol. 1, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 100–104, dezembro 1999.

[15] C. Dovrolis e P. Ramanathan, "A case for relative differentiation services and the proportional differentiation model", *IEEE Network*, vol. 13, no. 5, setembro 1999.

[16] N. Semret, R. R.-F. Liao, A. T. Campbell e A. A. Lazar, "Peering and provisioning of differentiated Internet services", in *Proceedings of the IEEE INFOCOM'2000*, março 2000.

[17] P. Goyal, A. Greenberg, C. R. Kalmanek, W. T. Marshall, P. Mishra, D. Nortz e K. K. Ramakrishnan, "Integration of call signaling and resource management for IP telephony", *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 44–52, maio 1999.

[18] H. Naser, A. Leon-Garcia e O. Aboul-Magd, "Voice over differentiated services", *Internet Draft*, dezembro 1998.

[19] K. Nichols, V. Jacobson e L. Zhang, "A two-bit differentiated services architecture for the Internet", *Internet RFC 2638*, julho 1999.

[20] A. Ziviani, J. F. de Rezende e O. C. M. B. Duarte, "Tráfego de voz em um ambiente de diferenciação de serviços na Internet", in *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, SBRC'99*, Salvador, BA, pp. 354–367, maio 1999.

[21] A. Ziviani, J. F. de Rezende e O. C. M. B. Duarte, "Towards a differentiated services support for voice traffic", in *Proceedings of the IEEE Global Telecommunications Conference - GLOBECOM'99*, vol. 1, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 59–63, dezembro 1999.

[22] A. Ziviani, J. F. de Rezende e O. C. M. B. Duarte, "Análise de mecanismos de diferenciação de serviços para tráfego de voz na Internet", in *Anais do XIX Congresso Nacional da Sociedade Brasileira de Computação, XXVI Seminário Integrado de Software e Hardware, SEMISH'99*, vol. 1, Rio de Janeiro, RJ, pp. 23–37, julho 1999.

[23] B.-K. Kim, "Simulation study of weighted round-robin queueing policy", Tese de Mestrado, Dept. of Computer Science, Univ. of Massachusetts, Lowell, MA, 1993.

[24] S. Floyd e V. Jacobson, "Random early detection gateways for congestion avoidance", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 1, no. 4, pp. 397–413, agosto 1993.

[25] 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 1998.

[26] H. Schulzrinne, "Converging on Internet telephony", *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 40–43, maio 1999.

[27] C. Huitema, J. Cameron, P. Mouchtaris e D. Smyk, "An architecture for residential Internet telephony service", *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 73–82, maio 1999.

[28] D. Rizzetto e C. Catania, "A voice over IP service architecture for integrated communications", *IEEE Internet Computing*, vol. 13, no. 5, pp. 53–62, maio 1999.

[29] D. Su, J. Srivastava e J.-H. Yao, "Investigating factors influencing QoS of Internet phone", in *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems – ICMCS'99*, junho 1999.

[30] T. J. Kostas, M. S. Borella, I. Sidhu, G. M. Schuster, J. Grabiec e J. Mahler, "Real-time voice over packet-switched networks", *IEEE Network*, vol. 12, no. 1, janeiro 1998.

[31] ITU-T, "One-way trasmission time". Recomendação G.114, março 1993.

[32] K. Fall e K. Varadhan, "NS – notes and documentation", tech. rep., The VINT Project, janeiro 1999.

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

[34] M. Schwartz, *Broadband Integrated Networks.* Prentice Hall, 1996.