

Engenharia de Tráfego em uma Rede de Serviços Diferenciados

Carlos Alberto Kamienski¹

cak@cin.ufpe.br

Djamel Sadok

jamel@cin.ufpe.br

Centro de Informática
Universidade Federal de Pernambuco
Recife, Brasil

Resumo

A Arquitetura de Serviços Diferenciados prevê que os pacotes de todas as aplicações que utilizam o esquema de Encaminhamento Expresso (EF - Expedited Forwarding) recebam um mesmo tratamento nos roteadores da rede. Entretanto, encaminhar pacotes com requisitos diferentes, como atraso fim a fim, em uma mesma classe de serviços pode gerar o desperdício de recursos. Nesse artigo, nós mostramos através de simulações, que a utilização de Engenharia de Tráfego em uma rede de Serviços Diferenciados com caminhos alternativos leva a um melhor aproveitamento global dos recursos da rede, além de auxiliar na manutenção das garantias de Qualidade de Serviço (QoS) em caso de queda de enlaces. Esse trabalho faz parte de um esforço para combinar em uma arquitetura os aspectos positivos de algumas abordagens para QoS na Internet, que nós chamamos de Arquitetura Chameleon.

Abstract

The Differentiated Services Architecture assumes that packets of all applications using the Expedited Forwarding (EF) scheme receive the same treatment by the network routers. However, we consider that packets forwarding with different requirements, like end-to-end delay, in a single traffic class can waste resources. In this paper, we show through a simulation study that applying Traffic Engineering to a Differentiated Services Network with multiple alternative paths leads to a better utilization of network resources, and helps in maintaining Quality of Service (QoS) guarantees in the event of a link failure. This work is part of an effort to combine in a single architecture features of some approaches to provide QoS in the Internet, known as the Chameleon Architecture.

1. Introdução

A Internet atual oferece um único tipo de serviço, chamado de melhor esforço, onde todos os pacotes recebem o mesmo tipo de tratamento. A rede faz o seu "melhor esforço" para encaminhar todos os pacotes o mais rápido possível, mas, às vezes é obrigada a descartar pacotes devido a congestionamentos. Aos usuários não é oferecida nenhuma garantia de perda de pacotes, largura de banda, atraso fim a fim e variação do atraso para as suas aplicações. Nos últimos anos, com a proliferação de aplicações multimídia, comércio eletrônico e educação à distância na Internet, surgiu uma nova demanda por Qualidade de Serviço (QoS), com o objetivo de oferecer garantias de desempenho a determinados usuários e aplicações.

¹ Aluno de doutorado do Centro de Informática da UFPE.

- Grande variação da taxa de geração dos pacotes CBR (100%) gera atrasos muito maiores, principalmente para o caminho 3. Com a introdução do suavizador, os efeitos nocivos são diminuídos.
- Grandes rajadas e atrasos adicionais (através de suavizadores) aumentam os valores de atraso e variação do atraso.
- A geração de atrasos constantes para as fontes EF (através de suavizadores, por exemplo) aumenta a vazão das fontes FTP.

Tipo de fonte de dados EF	Vazão FTP
CBR normal	206,5
CBR variando as taxas de transmissão e tamanhos de pacotes	206,3
CBR com suavizador	206,1
CBR com descartador	206,6
CBR com variação de 50%	205,9
CBR com variação de 100%	205,9
CBR com variação de 100% com suavizador	207,4
On/Off	206,1
On/Off com suavizador	207,0
Mistura de CBR e On/Off	206,5

Tabela 4 - Variação das fontes de dados EF

6. Conclusão

Os resultados de simulação da Seção 5 comprovam que é possível obter grandes benefícios em termos de desempenho e QoS em uma rede DiffServ com a utilização da Engenharia de Tráfego. Através do encaminhamento do tráfego destinado ao PHB EF por caminhos alternativos de acordo com a sua sensibilidade ao atraso, fizemos melhor utilização dos recursos da rede, ao mesmo tempo que atingimos os objetivos de desempenho da Engenharia de Tráfego, tanto os objetivos orientados a tráfego quanto a recursos.

Comparado à situação normal, sem Engenharia de Tráfego, nós mostramos que a sua utilização trouxe um aumento da vazão obtida pelos fluxos de melhor esforço (FTP) em 26,4%, ao mesmo tempo que conseguiu manter os fluxos EF dentro dos seus requisitos atraso, variação do atraso e vazão. A manutenção desses requisitos de QoS para os fluxos EF foi possível mesmo face à indisponibilidade temporária de um dos caminhos, devido à queda de um enlace. Sem Engenharia de Tráfego a degradação de desempenho foi inevitável, porque os pacotes sempre trafegam pelo caminho mais curto, deixando outros caminhos ociosos. A melhor distribuição dos fluxos pelos caminhos levou a uma utilização global da rede mais efetiva. Isso também conduz a um menor tempo de permanência dos pacotes em filas nos roteadores (que como consequência produz menores atrasos), que foi observado pelo estudo da variação do tamanho das filas.

Essas conclusões fornecem argumentos sólidos que nos impulsionam na direção de uma arquitetura integrada para QoS na Internet, que consiga obter um efeito sinérgico pela utilização de aspectos positivos das várias abordagens para QoS em desenvolvimento atualmente. A combinação de DiffServ com Engenharia de Tráfego está nos mostrando isso.

Como trabalhos futuros nessa área incluímos a utilização de topologias mais complexas, a interação entre vários domínios DS e a utilização de Engenharia de Tráfego para o tráfego

O motivo mais uma vez é a distribuição dos pacotes pelos enlaces de saída. Sem Engenharia de Tráfego todos os pacotes trafegam pelo enlace RE-RD e a probabilidade de pacotes chegarem no roteador RE simultaneamente é maior. Em ambos os casos, não ocorreu o pior caso, que exigiria filas de tamanho 9 e certamente introduziria atrasos maiores.

Tamanho da fila (pacotes)	Sem Engenharia de Tráfego (média CBR em Kbps)	Com Engenharia de Tráfego (média CBR em Kbps)
2	49,9	56,1
3	59,9	63,7
4	62,9	64,0
5	63,8	64,0
6	64,0	64,0
10	64,0	64,0
30	64,0	64,0

Tabela 3 - Influência do tamanho das filas

Outra constatação é a diminuição dos valores de atraso e variação do atraso com filas muito pequenas (2 e 3). Quando pacotes chegam simultaneamente, eles devem permanecer na fila, o que gera atrasos. Caso não haja capacidade na fila, eles são descartados. Ou seja, filas pequenas realmente são úteis para manter baixos os valores de atraso e variação do atraso. Porém, é necessário conviver com eles para que o requisito de não descartar pacotes seja mantido.

5.4. Variação das fontes de dados EF

Nas simulações anteriores consideramos valores fixos e constantes para as fontes de dados EF. Todas as fontes eram CBR, com tamanho de 576 bytes, taxa de 64 Kbps e variação da taxa de geração de pacotes de 10%. Também não foi utilizado nenhum mecanismo de condicionamento de tráfego, como suavizadores (*shapers*) e descartadores (*droppers*). Para comprovar que os resultados são válidos mesmo com grandes variações de comportamento das fontes EF, realizamos várias simulações adicionais. A Tabela 4 mostra os resultados da vazão média das FTP para várias situações, como variação do tamanho dos pacotes e taxas de transmissão e introdução de condicionamento de tráfego. Utilizamos também fontes On/Off, com intervalos de transmissão (períodos On) e períodos sem transmitir (Off), ambos determinados por uma variável aleatória com distribuição exponencial de 500 ms. Nos períodos On, ele gera tráfego a 64 Kbps, portanto, na média são 32 Kbps.

Em quase todos os casos, os requisitos de atraso, variação do atraso e vazão das fontes EF (CBR ou On/Off) foram mantidos. Mas, não houve nenhuma grande variação da vazão das fontes FTP. Isso significa que, para essa topologia de rede estudada, os benefícios da introdução da Engenharia de Tráfego podem ser mantidos, independentemente das características das fontes EF, desde que sejam tomadas cuidados para que fontes muito agressivas não prejudiquem o desempenho das demais fontes.

Desses resultados, algumas observações são:

- Pacotes grandes (1500 bytes) em enlaces com grande atraso (enlace RE-RB), geram maior atraso e variação do atraso para os pacotes.

percentual diminui a medida que cresce o tempo fora do ar. Os valores na tabela referem-se à média de vazão de todas as fontes FTP.

Tempo fora do ar (s)	Sem Engenharia de Tráfego (Kbps)	Com Engenharia de Tráfego (Kbps)	Diferença (Kbps)	Diferença (%)
10	218,2	263,6	45,4	20,8
20	279,8	328,5	48,7	17,4
30	341,3	393,1	51,8	15,2
40	406,5	464,7	58,2	14,3

Tabela 2 - Influência do tempo fora do ar

Outra simulação comparou o resultado da distribuição das fontes CBR pelos caminhos, com o enlace RE-RD fora do ar por 10 segundos. Com apenas um fluxo CBR trafegando pelo caminho 3 e cinco pelo caminho 1 (configuração utilizada na Seção 5.1), a média das fontes FTP foi 220,4 Kbps. Comparado aos valores da Tabela 2, pode-se observar que houve apenas um pequeno aumento em relação ao caso sem Engenharia de Tráfego, com 218,2 Kbps. Por outro lado, com três fluxos CBR trafegando por cada caminho, o resultado foi 263,6 Kbps. Isso se deve ao fato de que agora existem dois fluxos CBR a menos trafegando pelo caminho 1 e quando o enlace cai, os fluxos FTP conseguem tirar proveito disso. Essa constatação é importante para destacar a importância da distribuição dos fluxos pelos caminhos alternativos. As simulações comprovam que, para a rede simulada, quanto maior a distribuição dos fluxos, maior o desempenho das fontes FTP e maior a probabilidade de que as garantias de QoS para os fluxos CBR sejam mantidas.

5.3. Tamanho das filas

Nas simulações dessa seção, o objetivo é analisar a influência do tamanho das filas destinadas ao PHB EF dentro dos roteadores. Em geral, as filas não precisam ser muito grandes, uma vez que a correta configuração do mecanismo de implementação do EF faz com que a taxa de chegada/serviço não permita a acumulação de pacotes em filas. Dessa forma, o requisito de pequeno atraso e variação do atraso pode ser garantido. Mas, quando um roteador está conectado a vários enlaces de entrada, é possível que simultaneamente chegue um pacote EF em cada um deles [16]. Para garantir que pacotes não serão descartados, o tamanho da fila deve, então, ser no mínimo proporcional à quantidade de enlaces de entrada.

A rigor, assumindo que os pacotes têm tamanhos diferentes, limitados pela MTU (Maximum Transfer Rate) do enlace, o tamanho da fila deve ser a soma (em bytes) do valor da MTU de cada enlace de entrada [7]. Nas simulações, no entanto, consideramos que todos os pacotes EF têm o mesmo tamanho, então o tamanho das filas é dado em quantidade de pacotes. Para a nossa configuração de rede, o pior caso exigiria filas com capacidade para 9 pacotes no roteador RE.

A Tabela 3 mostra a influência do tamanho das filas na vazão média das nove fontes CBR. Filas muito pequenas fazem com que pacotes sejam descartados e a vazão não seja mantida. Filas grandes são desnecessárias, uma vez que a capacidade de saída do PHB EF sempre é maior do que a taxa de chegada de pacotes. Pode-se observar que, para o caso sem Engenharia de Tráfego, a taxa média das fontes CBR somente é mantida a partir de um tamanho de fila igual a 6 pacotes. Com Engenharia de Tráfego isso ocorreu já a partir do tamanho 4.

variação do atraso acima de 250 ms, por causa de uma breve instabilidade no momento da queda do enlace RE-RB.

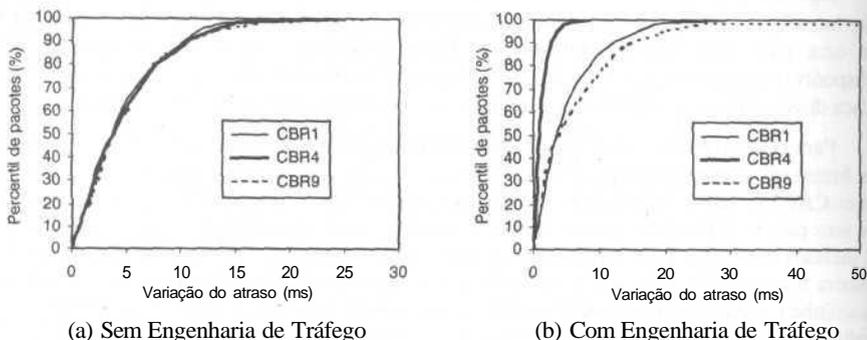


Figura 8 - Variação do atraso dos fluxos CBR com queda do enlace RE-RB

O maior ganho da Engenharia de Tráfego com a dinâmica da rede pode ser observada na vazão dos fluxos CBR. A Figura 9 mostra que, para o caso sem Engenharia de Tráfego, a vazão não pôde ser mantida durante o período que o enlace estava fora do ar. Isso se deve justamente à presença de pacotes de dois fluxos CBR adicionais trafegando pelo caminho 2. Com a Engenharia de Tráfego, os valores foram mantidos, apesar do fluxo CBR9 (e CBR7 e CBR8) ter tido uma breve instabilidade no momento em que o enlace voltou ao ar novamente.

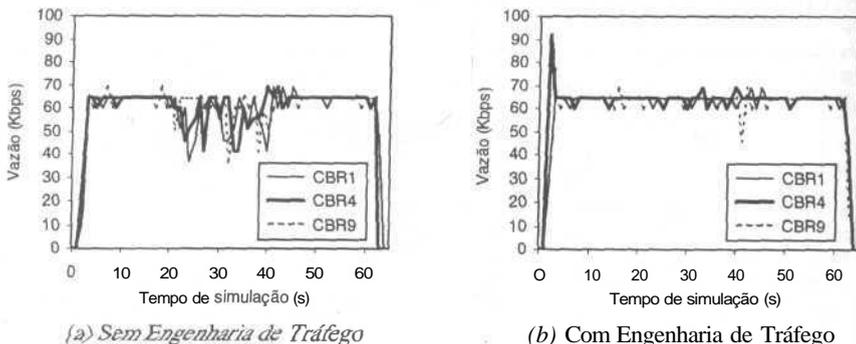


Figura 9 - Vazão dos fluxos CBR com queda do enlace RE-RB

Ainda envolvendo a dinâmica de rede, novas simulações avaliaram os efeitos da duração do tempo fora do ar do enlace no desempenho dos fluxos FTP. Para isso, o tempo fora do ar do enlace RE-RD (caminho 2) foi variado de 10 a 40 segundos. Os resultados são apresentados na Tabela 2. O aumento na vazão é justificado por que quando o enlace cai, o tráfego é redirecionado para o caminho 1, que possui maior largura de banda e capacidade ociosa. Quanto maior o tempo de permanência fora do ar, maior a vazão das fontes FTP.

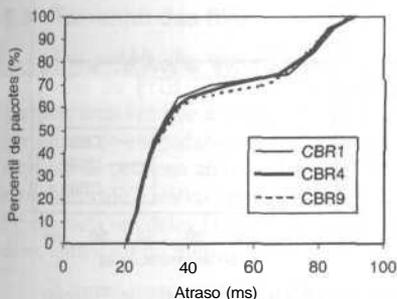
A vazão é maior com Engenharia de Tráfego, porque os pacotes das fontes CBR7, CBR8 e CBR9 não sofrem nenhuma alteração, permanecendo no caminho 3. Com três fontes a menos, as fontes FTP conseguem aproveitar a largura de banda adicional. A vantagem que o caso com Engenharia de Tráfego possui, apresenta um crescimento linear, por isso a diferença

5.2. Dinâmica da rede

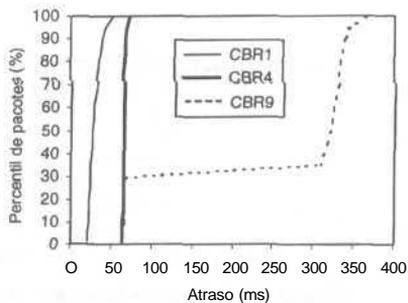
Nas próximas simulações nós analisamos o efeito da queda temporária de enlaces (ou seja, introduzimos dinâmica na rede) na Qualidade de Serviço observada pelas fontes CBR. Em uma rede com caminho único entre fonte e destino, o serviço simplesmente fica indisponível nesses casos. Como nossa rede possui 3 caminhos alternativos, a queda de um enlace desses caminhos implica no **redirecionamento** do tráfego para algum dos demais.

Para esse estudo foi alterada a configuração de atraso das fontes da Tabela 1, para que três fontes sejam encaminhadas por cada um dos caminhos. Para isso, os valores de atraso das fontes CBR7 e CBR8 foram alterados respectivamente para 550 ms e 600 ms, o que faz com que seus pacotes trafeguem pelo caminho 3, no caso com Engenharia de Tráfego. Além disso, foi incluída mais uma fonte CBR entre os nós F1 e B2. Ambas as fontes, CBR B1 e CBR B2, também foram configuradas com valor de atraso máximo de 500ms, para que o roteador RE encaminhe os seus pacotes de acordo com os critérios de Engenharia de Tráfego definidos. A configuração das filas WRR foi também alterada para refletir a nova configuração. O enlace RE-RB foi mantido fora do ar por um período de 20 segundos (do instante 20 ao 40) durante a simulação.

O resultado dessas simulações é apresentado nas Figuras 7, 8 e 9. Para o caso sem Engenharia de Tráfego, as duas fontes CBR direcionadas para os nós B1 e B2, são reencaminhadas pelo caminho 2 no período em que o enlace está fora do ar. Como consequência, as garantias de QoS não conseguem ser mantidas para os fluxos CBR. Com relação ao atraso (Figura 7a), somente 70% dos pacotes experimentam menos de 50 ms. Todos os fluxos experimentam um atraso máximo de aproximadamente 90 ms. Para os fluxos CBR1, CBR2 e CBR3 esses valores estão fora dos limites aceitáveis.



(a) Sem Engenharia de Tráfego



(b) Com Engenharia de Tráfego

Figura 7 - Atraso dos fluxos CBR com queda do enlace RE-RB

Para o caso com Engenharia de Tráfego, quando o enlace RE-RB cai, os pacotes dos fluxos CBR7, CBR8, CBR9, CBR B1 e CBR B2 são **reencaminhados** para o caminho 1, que é o mais adequado para eles, de acordo o procedimento indicado na Seção 4.2. Como esse caminho possui capacidade ociosa para absorver o tráfego **adicional**, os critérios de QoS podem ser mantidos. A Figura 7b mostra que o atraso se manteve nos mesmos patamares da Figura 2, além de que, para 30% dos pacotes do fluxo CBR9 (e CBR7 e CBR8) o atraso foi inferior a 100 ms (atraso típico do caminho 1).

A variação do atraso (Figura 8) não sofreu uma grande influência pela inclusão da dinâmica de rede na simulação. Apenas um pacote dos fluxos CBR7, CBR8 e CBR9 teve a

trabalho pois representa o tráfego adicional que um determinado domínio pode encaminhar quando realiza Engenharia de Tráfego com o PHB EF.

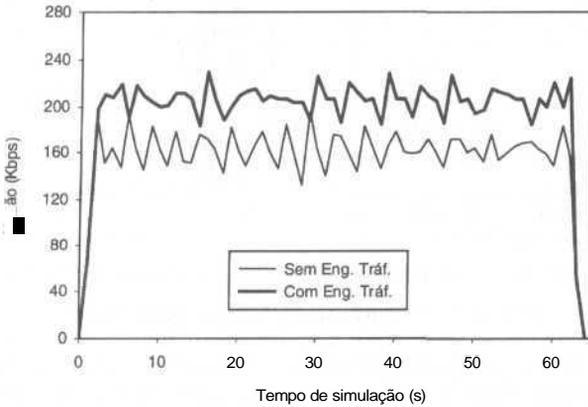
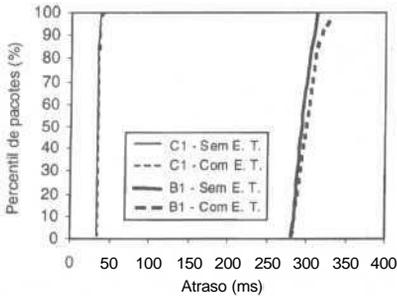
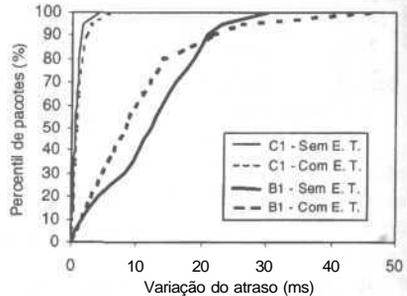


Figura 5 - Vazão dos fluxos FTP

Para completar esses resultados, a Figura 6 mostra que efeito da introdução da Engenharia de Tráfego no desempenho das fontes CBR que trafegam em direção aos nós Ci e Bi. A Figura 6a mostra os valores de atraso e a Figura 6b mostra a variação de atraso das fontes CBR, ambas comparando as fontes CBR dos nós C1 e B1. É possível observar que os valores se mostraram estáveis, não foram influenciados pelo trânsito de pacotes adicionais decorrentes da utilização dos caminhos alternativos pela Engenharia de Tráfego realizada. A maior diferença foi apresentada pela variação do atraso referente ao nó B1. Porém, em ambos os casos, os valores permaneceram abaixo de 20 ms para 90% dos pacotes.



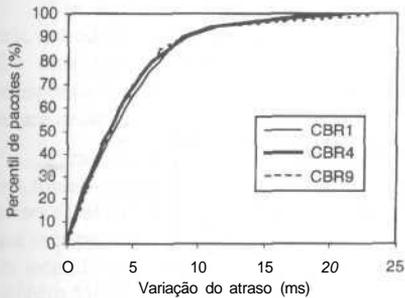
(a) Atraso



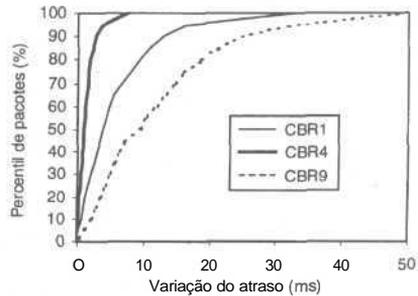
(b) Variação do atraso

Figura 6 - Fontes CBR dos nós C1 e B1

Os resultados apresentados acima comprovam que a Engenharia de Tráfego pode ser utilizada com sucesso para minimizar o problema de desperdício de recursos do PHB EF (devido à inclusão de vários tipos de aplicações com requisitos de atraso distintos), quando existem caminhos alternativos em um Domínio DS.



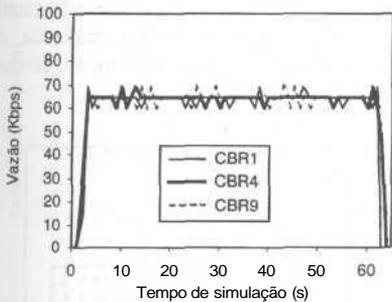
(a) Sem Engenharia de Tráfego



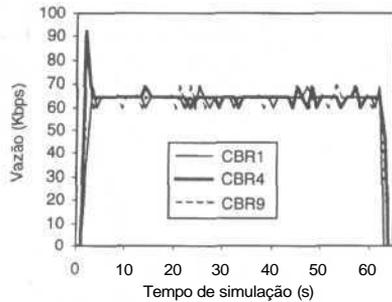
(b) Com Engenharia de Tráfego

Figura 3 - Variação do atraso dos fluxos CBR

A Figura 4 mostra a vazão das fontes CBR durante todo o tempo de simulação, medida de segundo a segundo. Pode-se ver que ela é mantida na média em 64 Kbps com pouca variação, o que significa que a configuração do mecanismo WRR de implementação do PHB EF está correta, para ambos os casos. A decisão de encaminhamento baseada em Engenharia de Tráfego nesse trabalho considera apenas o atraso, ou seja, não é levado em consideração se existe ou não largura de banda suficiente para os fluxos CBR nos caminhos alternativos. Considera-se que a rede está bem provisionada para receber todo o tráfego EF contratado, fato que é comprovado pelas medições da Figura 4.



(a) Sem Engenharia de Tráfego



(b) Com Engenharia de Tráfego

Figura 4 - Vazão dos fluxos CBR

As análises anteriores constataam que, com a introdução de Engenharia de Tráfego as fontes CBR mantiveram os seus requisitos de QoS. Isso significa que seis fluxos CBR foram desviados do caminho 2 para os caminhos 1 e 3 e sobram mais recursos para os fluxos FTP, para os quais não está sendo realizada Engenharia de Tráfego. Eles sempre são encaminhados pelo caminho 2.

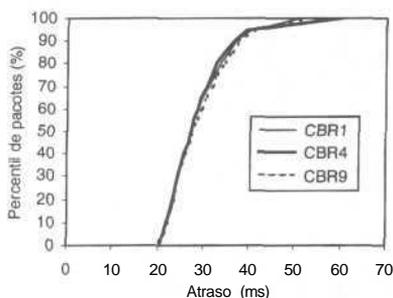
A Figura 5 mostra a vazão média dos nove fluxos FTP computada a cada segundo, durante todo o tempo de simulação. Com Engenharia de Tráfego, cada fluxo FTP obteve em média uma vazão de 206,5 Kbps, contra 163,4 Kbps para o caso sem Engenharia de Tráfego. Isso representa um acréscimo de 26,4%. Esse é um dos resultados mais importantes desse

Apesar de todos os fluxos terem sido observados, os gráficos mostram os resultados para os fluxos CBR1, CBR4 e CBR9, que foram escolhidos para que cada um seja o representante de um dos caminhos, respectivamente caminho 2, caminho 1 e caminho 3. As informações de vazão das fontes FTP é baseada na média de todas as fontes.

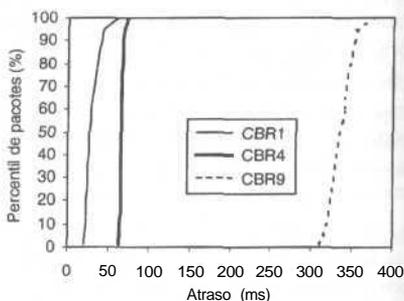
5.1. Desempenho com Engenharia de Tráfego

O nosso primeiro conjunto de simulações compara o desempenho das fontes FTP com e sem a realização de Engenharia de Tráfego para as fontes CBR. No caso sem Engenharia de Tráfego, o roteador RE é um roteador normal, que realiza o encaminhamento baseado no caminho mais curto. As Figuras 2, 3 e 4 mostram a comparação do atraso, da variação do atraso e da vazão, respectivamente.

Os resultados de atraso e variação do atraso são apresentados em percentil de pacotes que obtiveram determinado valor. Por exemplo, na Figura 2a pode-se observar que 90% dos pacotes apresentaram atraso abaixo de 40 ms e 100% abaixo de 60 ms. Nas simulações sem Engenharia de Tráfego, os fluxos CBR apresentaram desempenhos semelhantes para a grande maioria dos pacotes. Para os valores máximos de atraso de cada fluxo houve uma diferença de 47 ms para 60 ms, ou seja, uma variação de quase 28% entre o fluxo com valor mínimo e com o valor máximo.



(a) Sem Engenharia de Tráfego



(b) Com Engenharia de Tráfego

Figura 2 - Atraso dos fluxos CBR

Os resultados com Engenharia de Tráfego, Figura 2b, mostram que as necessidades das aplicações em termos de atraso máximo estão sendo atendidas. Para o fluxo CBR1, mais de 99% dos pacotes obtiveram atraso inferior a 50 ms. Para o fluxo CBR4, todos os pacotes tiveram atraso inferior a 73 ms. O pouco acréscimo de atraso em relação ao atraso do caminho (62 ms) deve-se à grande ociosidade do caminho 1. O fluxo CBR9 apresentou um atraso máximo de 372 ms, atendendo também os requisitos da aplicação.

Com relação à variação do atraso os resultados são semelhantes (Figura 3). A ociosidade do caminho 1 pode ser mais uma vez observada pela baixa variação do atraso (abaixo de 10 ms), inferior à do caminho 2, embora tenha um atraso maior.

Fonte	Atraso da fonte	Caminho escolhido	Atraso do caminho
CBR1	50 ms	2	50 ms
CBR2	60 ms	2	50 ms
CBR3	70 ms	2	50 ms
CBR4	120 ms	1	120 ms
CBR5	130 ms	1	120 ms
CBR6	140 ms	1	120 ms
CBR7	150 ms	1	120 ms
CBR8	150 ms	1	120 ms
CBR9	500 ms	3	500 ms

Tabela 1 - Atrasos das fontes e dos caminhos

Em uma implementação real em uma rede DiffServ, sugere-se a utilização dos dois bits chamados de CU (Current Unused) do campo TOS do cabeçalho IP e que não foram incluídos na definição do campo DS-Field [12]. Com esses dois bits pode-se dividir as aplicações em três grupos fixos com relação a sensibilidade ao atraso e o valor zero indicar que esse parâmetro está desativado.

5. Resultados

Os resultados apresentados referem-se a medições realizadas com todos os fluxos CBR e FTP entre as fontes Fi e os destinos Di. Uma prática comum é escolher apenas um determinado fluxo e medir o seu desempenho [10], [11], [18]. Nós observamos que, embora em alguns casos não exista diferença de desempenho entre um fluxo e outro, em várias situações a diferença é bastante considerável, a ponto de colocar em dúvida qualquer conclusão. Isso é confirmado em maior intensidade para fluxos TCP, devido ao seu mecanismo de controle de congestionamento.

As informações extraídas das simulações foram atraso, variação do atraso e vazão para as fontes CBR e a vazão das fontes FTP. O atraso é representado pelo atraso fim a fim entre fonte e destino. A variação do atraso, também chamada de *jitter*, é definida como o valor absoluto da diferença entre as horas de chegada de dois pacotes consecutivos menos as suas horas de saída, ou $|c_j - s_j - (c_i - s_i)|$ [10]. A vazão das fontes CBR é a taxa de dados que está sendo efetivamente recebida pelo nó de destino. Nós consideramos importante incluir essa informação porque em alguns casos, embora o atraso e a variação do atraso estejam dentro de margens aceitáveis, a vazão não é alcançada integralmente, seja por descarte ou permanência dos pacotes em filas. Com certeza, a configuração apropriada da taxa de chegada/serviço para o PHB EF nos roteadores impede a ocorrência desses desvios, mas essa informação foi considerada importante para garantir a confiabilidade dos resultados.

A vazão das fontes FTP é uma das nossas observações mais importantes. Ela representa o ganho em desempenho obtido pelo tráfego de melhor esforço quando parte do tráfego EF é desviado para caminhos alternativos ociosos através da Engenharia de Tráfego. Esse tráfego secundário aqui é representado pelo serviço de melhor esforço, mas as mesmas considerações são válidas para outros serviços, como o Serviço Assegurado e o Serviço Olímpico [9], ambos implementados com o PHB AF.

Conectados a cada um dos roteadores RC e RB foram incluídos 3 nós, respectivamente C1, C2, C3 e B1, B2, B3, para gerar tráfego EF e melhor esforço nos caminhos 1 e 3. Foram configuradas três fontes CBR e três FTP entre os nós F_i/C_i e C_i/D_i e uma fonte CBR e três FTP entre F_i/B_i e B_i/D_i . As fontes FTP geram tráfego de fundo nos caminhos 1 e 3, mas estamos considerando que eles apresentam capacidade ociosa, que pode ser aproveitada pela utilização da Engenharia de Tráfego.

Para garantir filas pequenas ou inexistentes nos roteadores, as filas que servem os fluxos EF foram configuradas com sua taxa mínima de saída maior que a taxa máxima de chegada (chamada de taxa de *chegada/serviço*) [10]. Já foi mostrado que 6% a mais de reserva de largura de banda para os fluxos EF nos roteadores é um valor adequado para evitar instabilidade nos valores de atraso e variação de atraso [18]. Portanto, nós usamos esse valor na configuração das filas WRR.

Todas as simulações tiveram duração de aproximadamente 60 segundos, com as fontes CBR e FTP iniciando aleatoriamente entre 0,5 e 2 segundos e terminando todas juntas após 62 segundos de simulação.

4.2. Configuração da Engenharia de Tráfego

A implementação da Engenharia de Tráfego no ns-2 foi realizada com a inclusão de um novo tipo de roteador, o *te-node*, conforme já foi mencionado. Para esse tipo de roteador, foi criado um novo classificador, que encaminha os pacotes baseado em critérios relacionados a atraso e não somente no menor caminho entre origem e destino. O funcionamento desse processo pode ser descrito através das seguintes fases:

- a) O roteador RE foi configurado para ser um *te-node*. Para cada caminho entre origem e destino foi atribuído um peso, que representa o atraso máximo que esse caminho impõe aos fluxos EF. Ao caminho 1 foi atribuído o atraso máximo de 120 ms, ao caminho 2, 50 ms e ao caminho 3, 500 ms.
- b) Cada fonte CBR foi configurada para que seus pacotes carreguem a informação do atraso máximo que as aplicações suportam. As fontes CBR1 a CBR9 foram configuradas respectivamente com os seguintes valores para o atraso máximo: 50 ms, 60 ms, 70 ms, 120 ms, 130 ms, 140 ms, 150 ms, 150 ms e 500 ms (Tabela 1).
- c) Quando o roteador RE recebe um pacote que não carrega informação de atraso máximo (ou seja, igual a zero), ele atua como um roteador comum, encaminhando o pacote pelo caminho mais curto.
- d) Caso contrário, entre todos os caminhos que levam até o destino, **ele** escolhe aquele com o maior atraso que seja menor que o atraso indicado no pacote. Isso significa que para os valores de atraso máximo configurados para as fontes CBR na fase b), os pacotes das fontes CBR1 a CBR3 seguem pelo caminho 2, os pacotes das fontes CBR4 a CBR8 pelo caminho 1 e os pacotes da fonte CBR9 pelo caminho 3 de acordo com a Tabela 1.

Os valores de atraso máximo dos caminhos são configurados estaticamente, ou seja, o roteador não tem a capacidade de realizar a Engenharia de Tráfego dinamicamente (que poderia ser realizado com a utilização de, por exemplo, Roteamento com QoS). Mas, a decisão de encaminhamento dos pacotes no roteador RE é dinâmica, de acordo com as condições momentâneas da rede. Isso significa que se algum enlace ficar fora do ar, o roteador continua procurando entre os demais caminhos aquele que é o mais adequado.

- Caminho 1: é a seqüência de roteadores RE-RC-RD, que possui um atraso mínimo de 62ms. Considerando os atrasos introduzidos nos roteadores, o atraso máximo desse caminho foi configurado para 120 ms (Seção 4.2), portanto adequado para tráfego de áudio e vídeo interativos
- Caminho 2: é a caminho direto RE-RD, que possui um atraso mínimo de 12 ms. Esse caminho é o mais curto, portanto seria o escolhido naturalmente pelos protocolos de roteamento padrão. A atraso máximo foi configurado para 50 ms, o que o torna adequado para aplicações de tempo real.
- Caminho 3: representado pela seqüência RE-RB-RD, é o que possui menor largura de banda e maior atraso. É composto por um enlace de satélite, o que lhe confere um atraso mínimo de 292 ms. O atraso máximo foi configurado para 500 ms e ele é adequado para aplicações como jogos interativos ou quadros de discussão.

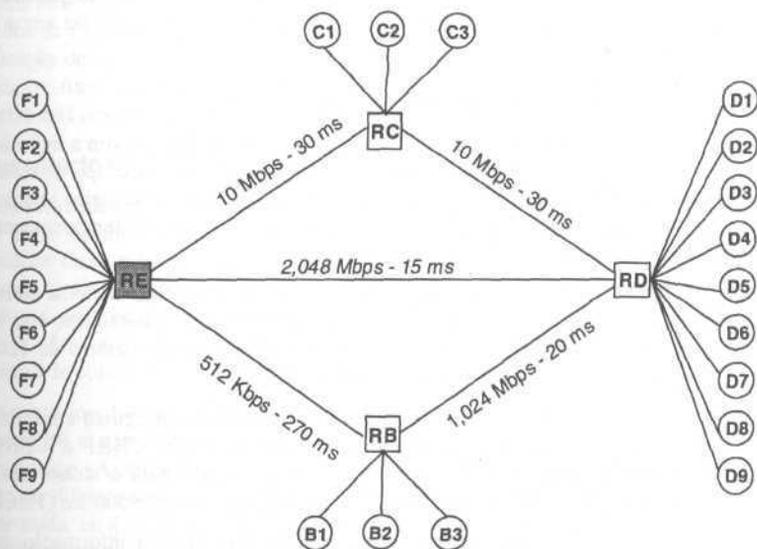


Figura 1 - Topologia da rede

Entre cada par de fonte e destino F_i/D_i foi instalada uma fonte de dados constante CBR para gerar tráfego para o PHB EF e uma fonte FTP para o PHB padrão, ou seja, melhor esforço. As fontes CBR tem tamanho de pacote de 576 bytes e transmitem a 64 Kbps, com variação de +/- 10% entre a geração dos pacotes. Simulações posteriores foram realizadas utilizando uma mistura de vários tamanhos de pacotes, várias taxas de transmissão de dados e vários percentuais de variação da taxa, bem como utilizando fontes On/Off e misturando fontes CBR com On/Off (Seção 5.4).

As fontes FTP foram configuradas com pacotes de tamanho de 1500 bytes utilizando o algoritmo TCP NewReno para o controle de congestionamento. O tamanho dos pacotes FTP foi mantido em todas as simulações, pois é muito bem conhecida a preferência do TCP por pacotes de tamanho grande. Também pelo desempenho foi utilizado o TCP NewReno.

Um objetivo central da Engenharia de Tráfego na Internet é facilitar a operação eficiente e confiável da rede enquanto que ao mesmo tempo otimiza a sua utilização e desempenho. A Engenharia de Tráfego já é atualmente uma função indispensável em grandes redes por causa do custo alto dos equipamentos e da natureza comercial e competitiva da Internet. Como altera o fluxo normal dos pacotes, ela pode ser utilizada para atender a requisitos de QoS de determinados fluxos de dados.

Os objetivos de desempenho da Engenharia de Tráfego podem ser classificados como:

- Orientados a tráfego: incluem os aspectos relacionados à manutenção das garantias de QoS dos fluxos de dados (ou agregações de fluxos).
- Orientados a recursos. estão relacionados à otimização dos recursos da rede, como impedir que certas partes da rede se tornem congestionadas, enquanto outras permaneçam com recursos ociosos.

Esse artigo aborda esses dois aspectos, orientados a tráfego e a recursos, nas Seções 5.2 e 5.1 respectivamente.

A Engenharia de Tráfego pode ser feita manualmente, ou usando algum tipo de técnica automatizada, usando inclusive MPLS e/ou Roteamento com QoS para descobrir e fixar os caminhos mais adequados a determinadas agregações de fluxos dentro da rede. Nesse trabalho, alteramos o processo de encaminhamento dos pacotes em um roteador para direcionar fluxos para os caminhos mais adequados da rede. A configuração dos parâmetros é manual, mas pode também ser realizada automaticamente, através de Roteamento com QoS. Além disso, os roteadores no caminho precisam consultar sua tabela de roteamento para encaminharem os pacotes. Isso poderia ser evitado, fixando os caminhos com MPLS para os roteadores encaminharem os pacotes baseados em comutação de rótulos.

4. O modelo de simulação

Nas nossas simulações nós utilizamos o simulador de rede ns-2 [13] modificado para suportar Serviços Diferenciados e Engenharia de Tráfego. Foi desenvolvido um novo tipo de nó, chamado *te-node*, que tem a capacidade de realizar o encaminhamento dos pacotes baseado na informação de sensibilidade ao atraso que eles carregam e na informação de atraso máximo encontrada em cada caminho entre fonte e destino (Seção 4.2).

O suporte a Serviços Diferenciados é realizado através de condicionadores de tráfego que têm a capacidade de executar descarte e suavização de pacotes fora do perfil. Além disso, para a implementação do PHB EF foram utilizados os módulos CBQ (Class-Based Queueing) presentes no ns-2 para configurar filas WRR (Weighted Round-Robin) e PQ (Priority Queueing), como em [10] e [18].

4.1. Topologia de rede e parâmetros de simulação

A topologia de rede utilizada nas simulações é mostrada na Figura 1. Existem nove fontes F1 a F9, que estão conectadas a nove destinos D1 a D9, através de uma rede que possui três caminhos alternativos. As fontes e os destinos estão conectados aos seus roteadores através de uma rede local, a 10 Mbps e com um atraso de 1 ms. Os caminhos alternativos são necessários para realizar a Engenharia de Tráfego. Os quatro roteadores (RE, RD, RC e RB) estão conectados através de enlaces de longa distância (e consequentemente alto atraso). Os três caminhos foram configurados com as seguintes características:

domínio para outro são fiscalizados (policidados) nos roteadores de borda para verificar sua conformidade com os contratos. No centro da rede, os roteadores simplesmente encaminham os pacotes para os seus destinos, oferecendo algumas garantias de QoS a determinados pacotes. Ou seja, pacotes distintos podem ter tratamentos distintos nos roteadores, para sua aderência a seus requisitos de QoS. Esse tratamento específico de encaminhamento é chamado de PHB (Per-Hop Behavior). Para identificar pacotes como pertencendo a determinado PHB é utilizado o DSCP (DS Code Point), um código de bits inserido no campo TOS (agora renomeado para DS Field) do cabeçalho IP.

As atividades referentes à fiscalização dos pacotes são coletivamente chamadas de condicionamento de tráfego. O condicionamento envolve a classificação dos pacotes, medição do tráfego (baseado em um mecanismo de balde de fichas, por exemplo) e uma subsequente ação, para os pacotes que não estão dentro do perfil de tráfego contratado (taxa de transmissão ou rajada maior que o permitido). A ação depende do serviço oferecido, mas, em geral, pode ser o descarte, a suavização (espera em uma fila) ou a **remarcação** para outro DSCP.

A combinação do PHB no centro da rede com as regras de policiamento na borda, permitem a criação de vários serviços em uma rede de Serviços Diferenciados. Atualmente estão sendo padronizados dois tipos de PHBs pelo IETF: Encaminhamento Expresso (EF) e Encaminhamento Assegurado (AF). O grupo de PHBs AF [9] pode ser utilizado por serviços que necessitam de garantias não muito rígidas, para obter diferenciação (preferência) aos seus pacotes que trafegam na rede.

O PHB EF [10] define garantias mais rígidas de QoS para aplicações muito sensíveis a variações de características temporais da rede. Ele pode ser utilizado para implementar um serviço com pouco atraso, pouca variação do atraso (*jitter*) e largura de banda garantida. Para os usuários, esse serviço, conhecido como **Premium**, parece com uma "linha privativa virtual". Perda de pacotes, atrasos e variações no atraso ocorrem devido a existência de filas nos roteadores. Portanto, o PHB EF é definido como um tratamento de encaminhamento para uma agregação de fluxos **DiffServ** onde a taxa de saída dos pacotes de qualquer roteador **DiffServ** deve ser maior que a taxa de entrada. Esse procedimento evita a formação de filas e conseqüentemente a manutenção das garantias de QoS oferecidas por esse PHB.

Apesar de ser escalável, DiffServ não oferece a garantia de recursos para todos os fluxos, como o IntServ. As reservas de recursos são feitas para agregações, ou seja, grandes conjuntos de fluxos. Um fluxo individual pode não atingir as suas necessidades em termos dos parâmetros de QoS, como largura de banda e atraso. Esse tipo de QoS algumas vezes é chamado de Classes de Serviço (CoS). Nesses casos, garantias somente podem ser obtidas através do correto provisionamento dos recursos da rede, o que nem sempre é algo fácil. Os resultados desse artigo comprovam que o desempenho de uma rede DiffServ, bem como as garantias de QoS podem ser mantidas através da utilização da Engenharia de Tráfego para obter uma distribuição adequada do tráfego pelos múltiplos caminhos de um Domínio DS.

3. Engenharia de Tráfego

Engenharia de Tráfego é o processo de arranjar como o tráfego flui através da rede para que congestionamentos causados pela utilização desigual da rede possam ser evitados. A Engenharia de Tráfego é direcionada à otimização de desempenho de redes operacionais. Em geral, ela engloba a aplicação de princípios tecnológicos e científicos para medir, modelar, caracterizar e controlar o tráfego na Internet e a aplicação dessas técnicas e conhecimentos para atingir determinados objetivos de desempenho [1].

No âmbito da IETF, atualmente estão sendo discutidas cinco abordagens para o oferecimento de QoS na Internet [17]: A Arquitetura de Serviços Integrados (IntServ) [4], que utiliza o protocolo RSVP [5] para reserva de recursos, a Arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ) [3], MPLS (Multiprotocol Label Switching) [14], Roteamento com QoS [6] e Engenharia de Tráfego [1]. Embora haja sobreposição, existem muitos aspectos ortogonais entre essas abordagens. Por solucionar problemas distintos, é possível combiná-las em uma única arquitetura integrada para QoS na Internet.

Esse artigo trata da utilização da Engenharia de Tráfego para obter melhor desempenho em uma rede de Serviços Diferenciados que implementa o PHB EF (Seção 2). Ele faz parte dos esforços de desenvolvimento da Arquitetura Chameleon, uma arquitetura integrada para QoS na Internet. Sua motivação foi gerada a partir de dois argumentos principais: desperdício de recursos e existência de caminhos alternativos em uma rede.

O DiffServ inclui no PHB EF todas as aplicações sensíveis a perda de pacotes e atraso fim a fim. Nós consideramos que isso leva ao desperdício de recursos preciosos da rede. Em geral, quanto mais próximos os serviços oferecidos pela rede estão das necessidades das aplicações, maior a eficácia [15]. Se as aplicações apresentam grandes diferenças de sensibilidade com relação ao atraso (como de 50 ms a 500 ms), então utilizar uma única classe de serviços (o PHB EF) para encaminhar os pacotes de todas as aplicações exige uma quantidade maior de largura de banda. Para incluir todas as aplicações na mesma classe de serviços, as aplicações que aceitam até 500 ms de atraso terão que ser encaminhadas com no máximo 50 ms, ou seja, estão consumindo mais recursos do que o necessário.

Uma solução seria a criação de algumas classes de serviços, cada uma oferecendo um limite máximo para o atraso. Outra solução é beneficiar-se da existência de caminhos alternativos², possivelmente com diferentes atrasos, através da Engenharia de Tráfego (Seção 3). Nesse artigo, nós mostramos através de simulações que, encaminhando pacotes com sensibilidades diferentes ao atraso por caminhos distintos, pode-se utilizar mais racionalmente os recursos da rede, melhorando o seu desempenho global, ao mesmo tempo que se mantém as garantias de QoS para as aplicações. Isso é possível, em algumas situações, mesmo diante da indisponibilidade temporária de algum desses caminhos.

Na seqüência do artigo, a Seção 2 apresenta conceitos básicos sobre a Arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ) e o PHB EF e a Seção 3 introduz a Engenharia de Tráfego. O modelo de simulação, com a topologia da rede, parâmetros e a nossa estratégia de encaminhamento de pacotes são mostrados na Seção 4. A Seção 5 contém os resultados da simulação, que comprovam os benefícios da utilização da nossa abordagem. As conclusões, bem como indicações para trabalhos futuros são apresentados na Seção 6.

2. A Arquitetura de Serviços Diferenciados

Entre várias propostas para QoS na Internet, Serviços Diferenciados (DiffServ), vem se destacando por oferecer uma característica indispensável: escalabilidade. Escalabilidade pretende ser obtida através da agregação de fluxos e separação das funções dos roteadores de borda e de núcleo, principalmente nas grandes redes de *backbone*. As redes que implementam DiffServ são chamadas Domínios DS.

Domínios DS negociam entre si contratos de serviço que visam o provimento de garantias mínimas de QoS para as aplicações dos usuários. Todos os pacotes que fluem de um

² Caminhos alternativos são comuns em redes de *backbone*, justamente aquelas que mais benefícios têm a usufruir com DiffServ [2].

destinado ao PHB AF e tráfego de melhor esforço. Além disso, é importante investigar outros métodos para evitar o desperdício de recursos quando não existem caminhos alternativos, que não utilizem Engenharia de Tráfego.

Referências Bibliográficas

- [1] Awduche, D. et al., "Requirements for Traffic Engineering over MPLS", Internet RFC 2702, Setembro 1999.
- [2] Bernet, Y. et al., "A Framework For Integrated Services Operation Over DiffServ Networks", Internet Draft, <draft-ietf-issll-diffserv-rsvp-03.txt>, Setembro 1999.
- [3] Black, D. et al., "An Architecture for Differentiated Services", Internet RFC 2475, Dezembro 1998.
- [4] Braden, R., Clark, D. & Shenker, S., "Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview", Internet RFC 1633, Junho 1994.
- [5] Braden, R. et al., "Resource ReSerVation Protocol (RSVP) - Version 1 Functional Specification", Internet RFC 2205, Setembro 1997.
- [6] Crawley, E. et al., "A Framework for QoS-based Routing in the Internet", Internet RFC 2386, Agosto 1998.
- [7] Diederich, J. & Zitterbart, M., "An Expedited Forwarding with Dropping PHB", Internet Draft, <draft-dieder-diffserv-phb-efd-00.txt>, Outubro 1999.
- [8] Grossman, D., "New Terminology for DiffServ", Internet Draft, <draft-ietf-diffserv-new-terms-02.txt>, Novembro 1999.
- [9] Heinamen, J. et al., "Assured Forwarding PHB Group", Internet RFC 2597, Junho 1999.
- [10] Jacobson, V., Nichols, K. & Poduri, K., "An Expedited Forwarding PHB", Internet RFC 2598, Junho 1999.
- [11] Köhler, S. & Schäfer, U., "Performance Comparison of Different Class-and-Drop Treatment of Data and Acknowledgements in DiffServ IP Networks", Relatório Técnico 237, Universidade de Würzburg, Alemanha, 1999.
- [12] Nichols, K. et al., "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", Internet RFC 2474, Dezembro 1998.
- [13] VINT Network Simulator (versão 2) <http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns>.
- [14] Rosen, E. et al., "Multiprotocol Label Switching Architecture", Internet Draft, <draft-ietf-mpls-arch-06.txt>, Agosto 1999.
- [15] Shenker, S., "Fundamental Design Issues for the Future Internet", IEEE Transactions on Networking, Setembro 1995.
- [16] Teitelbaum, B., "QBone Architecture (v1.0)", Internet2 QoS Working Group Draft, Agosto 1999.
- [17] Xiao, X. & Ni, L. M., "Internet QoS: A Big Picture", IEEE Network, Março 1999.
- [18] Ziviani, A., Rezende, J. F. & Duarte, O. C. M. B., "Tráfego de Voz em um Ambiente de Diferenciação de Serviços na Internet", SBRC'99, Maio 1999.