

UMA PROPOSTA DE ARQUITETURA IP PARA BACKBONES DE ALTA VELOCIDADE

R. C. Betini[†], N. K. Camiña[‡]

[†]Computer Science Department, PUC PR, Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba - Brasil
betini@ppgia.pucpr.br,

[‡]Electrical Engineering Department, PUC PR, Rua Imaculada Conceição, 1155, Curitiba - Brasil
nelcy@ppgia.pucpr.br

ABSTRACT

This article presents a purpose of QoS for IP networks. It shows how Internet Service Providers can guaranty QoS, according with the type of flow being controlled. We have described how a high speed network would be implemented without a significant change in the actual internet architecture. Finally, we discussed the internet need to have to provide bandwidth channels enough to guaranty a given QoS and we have suggested the use of IPv4 over DWDM to supply this need in a cost effective way.

1. INTRODUÇÃO

A demanda por serviços IP, incluindo comércio eletrônico, acesso a Internet, serviços de rede sem fio, dial-up e serviços de Redes IP Privadas Virtuais dedicadas (IVPN), serviços de fornecimento de recursos de rede, serviços de aplicação e entrega de conteúdo, serviços de venda, está crescendo em uma taxa alarmante.

O problema que está em face dos Provedores de Serviços IP, o qual inclui Provedores de Serviço de Internet (ISPs), Provedores de Serviços de Rede (NSPs), Companhias Provedoras de Recursos de Rede, Provedores de Serviços de Aplicação (ASPs), Provedores de Serviço IP Móvel, Provedores de Serviços de Entrega de Conteúdo (CDSPs), é construir um negócio lucrativo e manter a lucratividade em face do aumento de competição. Este problema aparece de forma mais acentuada no mercado de consumidores de acesso a Internet, como mostrado na figura 1.

Esta figura mostra que com a exceção da America On Line (AOL), a maioria dos líderes ISPs no mercado americano, não possuem lucratividade e estão ameaçados a um prejuízo maior com o aparecimento de serviços de acesso livre a Internet oferecidos por companhias tal como NetZero, 1stUP.com, Free!, Franz.net, e Brand 3.

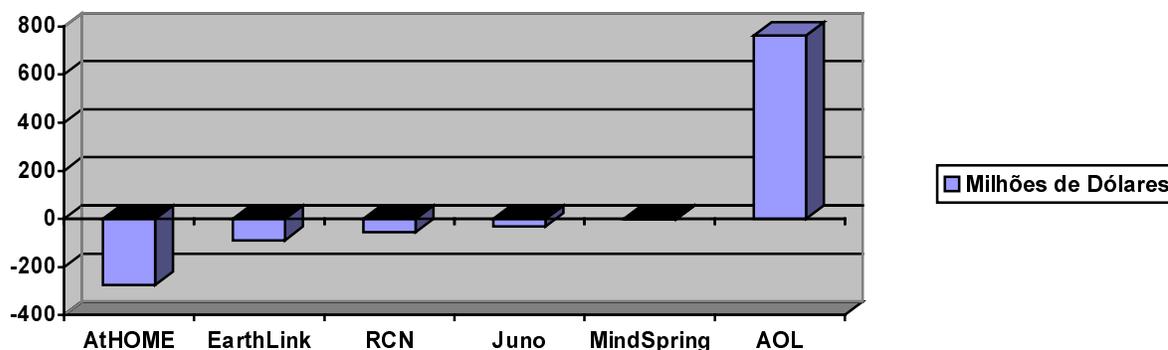
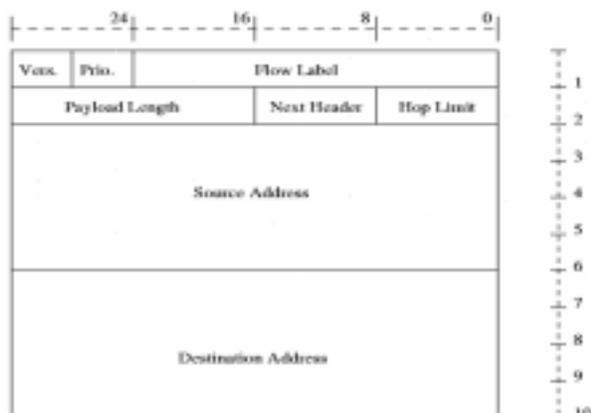


Fig. 1: Relatório de lucratividade de setembro de 1998 a setembro de 1999 (Fonte: *The Yankee Group, 2000*)

A baixa margem de lucratividade ou o prejuízo na prestação dos serviços IP anteriormente mencionados está se tornando comum. Neste caso, o prejuízo obtido na prestação de Serviço de Acesso a Internet, é simplesmente um exemplo do sintoma do problema. O problema em si é a incapacidade dos Provedores de Serviços IP em construir serviços diferenciados que forneçam suficiente qualidade aos clientes, garantam

uma tarifa mais elevada e assegurem a retenção do cliente.

A maioria dos segmentos de Provedores de Serviços IP podem ser caracterizados como imaturos, pois hoje em dia somente a entrega do serviço é considerada suficiente.



(a)

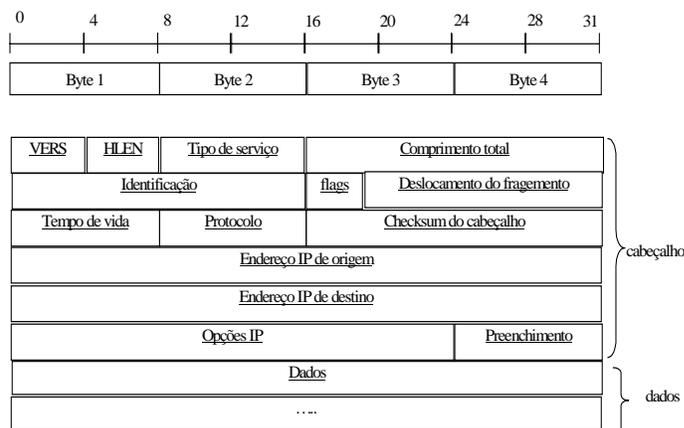
Fig. 2: Cabeçalhos de pacote para (a) IPv6 e (b) IPv4.

Nossa proposta é uma iniciativa no sentido de diferenciar os tipos de serviços a serem tratados numa rede IP de tal forma que o usuário também seja diferenciado com relação a qualidade do serviço sendo oferecido e o provedor possa desta forma assegurar uma lucratividade maior na prestação de serviços IP e conseqüentemente uma retenção do usuário pela qualidade oferecida.

Nosso estudo é direcionado ao uso do IPv4 ao invés do IPv6. Pois o IPv4 conserva aplicações e estruturas de rede já existente e possui vários campos de cabeçalho, como mostrado na figura 2, tais como *Type of Service* e endereço IP, que segundo [4], quando combinados podem servir para a identificação do tipo de serviço ofertado. Além do mais, a conversão das redes de comunicação de IPv4 para IPv6 custará bilhões de dólares. O que nós necessitamos no momento é de endereçamento estendido, uma característica que pode ser facilmente disponível pela adição de um cabeçalho estendido. Nós podemos fazer isto de forma incremental, tal que possamos adicionar um cabeçalho, dois ou três cabeçalhos se necessário, ao invés de saltarmos de 32 para 128 bits de uma vez só, conforme afirmam [6, 7].

Existem vários campos, tal como "*IP Address*" e "*protocol number*" em IPv4, que podem identificar um fluxo. IPv6 possui um rótulo de fluxo explícito, porém nenhum acordo internacional foi firmado com relação ao seu exato uso.

A integração de serviços de voz e dados com qualidade, supõe o uso da Internet como uma rede resultante desta integração. Por outro lado, a Internet deverá possuir canais de largura de banda suficiente para garantir a qualidade exigida. Neste sentido artigos recentes de [5, 6, 10] mostram que uma rede IP



(b)

sobre DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) pode garantir a largura de banda com menos *overhead* do que IP sobre ATM sobre SDH sobre DWDM, veja a figura 3.

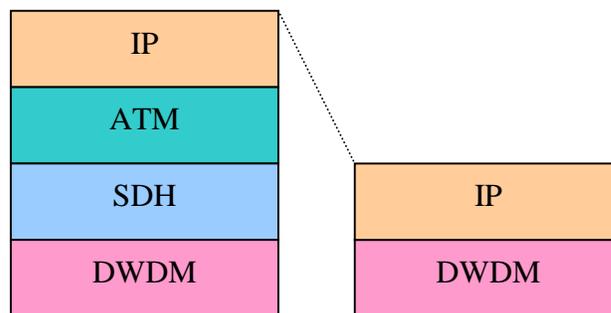


Fig. 3: IP sobre DWDM.

Ao invés de rodar IP sobre ATM sobre SDH sobre DWDM, IP pode operar diretamente sobre a camada DWDM.

As redes ópticas operando com DWDM oferecem uma capacidade de largura de banda significativamente maior sobre os cabos de fibra óptica existentes e requer menos componentes de rede. Isto responde a questão de como aumentar a capacidade de largura de banda em redes integradas, com o aumento projetado em tráfego IP. DWDM possui também a capacidade de reduzir custos e simplificar a topologia e operação da rede.

A capacidade extra de largura de banda provém do fato de que múltiplas frequências de comprimento de onda chamadas canais, ou lambdas, podem ser fornecidos sobre uma única fibra usando a tecnologia

chamada *Dense Wave Division Multiplexing* (DWDM). Cada canal DWDM pode suportar OC-48 ou OC-192 (48 x 51,83Mbps ou 192 x 51,83Mbps) de largura de banda, e a próxima geração de equipamentos DWDM será capaz de suportar entre 40 ou 80 canais sobre um único cabo de fibra óptica.

A figura 3 ilustra a redução em camadas, que indiretamente reduz os componentes de rede e consequentemente reduz os custos. Esta redução de componentes também elimina a duplicação de funções entre camadas. Os roteadores IP atualmente podem tratar pacotes sobre interfaces SDH desde velocidades OC-48 a OC-192. Porém estes roteadores IP devem sofrer um upgrade que lhes permita a conexão direta a multiplexadores DWDM. Upgrades são necessários também no sentido de fornecer muitas das capacidades de gerenciamento e restauração hoje oferecidas por SDH afirmam [9, 11].

Nosso objetivo é apresentar uma proposta para obter QoS previsível para serviços IP. Para tanto podem ser usadas ferramentas de modelagem de redes via simulação discreta para definirmos classes de fluxo e a necessidade de recursos de rede para o tratamento de uma dada aplicação, como pode ser visto em [1, 2, 3, 8].

Tendo feito estas considerações iniciais, na seção II ilustramos como na teoria e na prática, QoS previsível pode ser oferecido por redes IP.

2. UM MODELO PARA FORNECER QoS FIM-A-FIM EM REDES IP

O problema em oferecer QoS a Internet está ligado principalmente ao fato de redes IP terem uma arquitetura não orientada a conexão. Enquanto serviços de linha alugada fornecem largura de banda equivalente a circuitos físicos entre dois pontos e serviços de transmissão de dado como Frame Relay ou ATM fornecem conexões fim-a-fim pré-definidas via circuitos virtuais lógicos, a Internet transporta o tráfego sem nenhum circuito ou caminho pré-definido através da rede. Ao contrário, o tráfego IP é transmitido entre os roteadores em um salto por vez, e pacotes sucessivos podem seguir diferentes caminhos para o mesmo destino.

Desta forma a solução de QoS para redes IP deve estabelecer de alguma forma, um controle fim-a-fim sobre um ambiente que não possui os conceitos de conexão fim-a-fim pré-definida. Existem 3 elementos básicos que podem ser utilizados juntos para alcançar tal objetivo.

- **Definição de QoS.** Os clientes, provedores de serviço e a rede devem compartilhar um vocabulário que define o que QoS significa e devem usar meios de moderar os níveis de QoS sobre a Internet.

- **QoS de Acesso.** O controle de largura de banda e o policiamento de tráfego são críticos no ponto onde o tráfego do cliente entra na rede. O controle de QoS fim-a-fim deve ser iniciado nos equipamentos do cliente e deve ser granular o bastante para diferenciar os requerimentos de serviço de múltiplos fluxos de tráfego.
- **QoS de Backbone.** O backbone da rede administra QoS de forma diferente do ponto de acesso da rede. O QoS de backbone trabalha sobre agregados de tráfego de usuário e não sobre correntes de tráfego individual. Para suportar garantias no serviço fim-a-fim, o backbone deve fornecer o transporte e o controle suficiente para satisfazer os níveis de serviços prometidos aos usuários.

Na figura 4 mostramos como estes 3 elementos poderiam ser usados para classificar o tráfego do usuário e mapeá-lo a um backbone capaz de suportar classes de serviços diferentes definidas por um equipamento no ponto de acesso do usuário à rede. Este equipamento pode usar uma política granular que envolva o policiamento de tráfego e o controle de largura de banda. Segundo [4], as rotas, caminhos, PVCs de backbone representando diferentes níveis de serviço são baseadas nas políticas definidas no ponto de acesso .

3. DIFFSERV E MPLS

Dois grandes esforços de padronização da IETF estão tornando a QoS em redes IP uma realidade. Segundo [4, 5] estes padrões são o "*Differentiated Services (DiffServ)*" e o "*Multiprotocol Label Switching (MPLS)*".

Algumas vezes estas técnicas são entendidas como rivais uma da outra, porém, na realidade, são esforços de desenvolvimento complementares que abordam o problema de QoS para dois tipos de perspectivas de rede IP.

DiffServ é uma solução de camada 3 usada para requerimentos de QoS em um ambiente de rede não orientado a conexão. Sua principal proposta é padronizar um conjunto de blocos estabelecendo regras de QoS com as quais os provedores podem modelar seus serviços IP com QoS.

O QoS via DiffServ é para ser implementado nas pontas da rede via periféricos de acesso e então suportado através do backbone via roteadores capazes de tratar tráfego DiffServ. Devido ao fato do DiffServ operar puramente na camada 3, esta técnica não pode ser usada em qualquer infraestrutura de camada 2. Roteadores suportando ou não DiffServ e serviços podem ser misturados no mesmo ambiente.

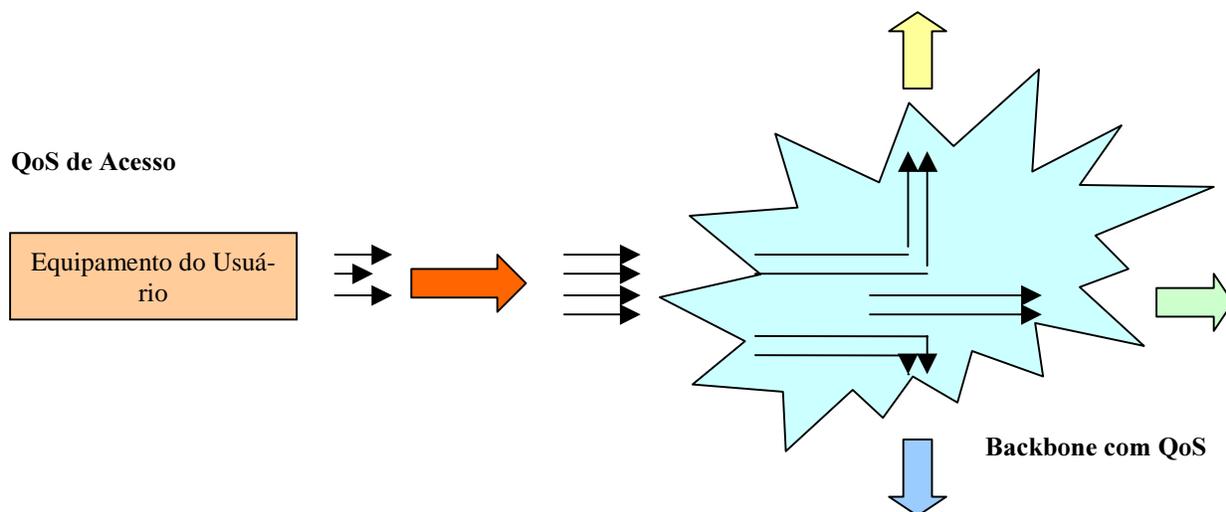


Fig. 4: Passos para obter QoS na Internet.

MPLS é uma estratégia para simplificar e aumentar a eficiência do transporte ao nível de backbone de pacotes IP através de uma rede de camada 2 ou 3. Embora MPLS envolva questões de QoS, este não é seu principal objetivo. MPLS está direcionado principalmente a melhorar a escalabilidade da Internet através de uma Engenharia de Tráfego melhor. MPLS ajudará a construir redes de backbone que melhor suportam tráfego com QoS, porém isto requer mudanças significativas na arquitetura de rede existente. MPLS é essencialmente uma mistura das camadas de rede (3) e de enlace (2), e pode representar uma maneira totalmente nova de construir backbone de redes IP.

DiffServ e MPLS são de fato desenvolvimentos independentes que podem funcionar com ou sem a ajuda um de outro. Nenhuma especificação requer o uso da outra, porém redes MPLS devem ser capazes de derivarem o status de QoS de tráfego DiffServ. Existe uma esperança de que estas duas técnicas possam ser usadas juntas, uma no acesso (DiffServ) e outra ao nível do backbone (MPLS).

A curto prazo DiffServ parece ter uma relevância maior. Ele atribui valores de QoS no cabeçalho do IP, e fornece um mecanismo para obter QoS de acesso e QoS de backbone através da rede. A especificação desta tecnologia já se encontra em seu estado preliminar. Implementações recentes provaram que a tecnologia é estável, e produtos baseados em padrões estarão logo disponíveis no mercado. MPLS, por outro lado, não possui previsão para atingir o status de RFC.

4. ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO DIFFSERV

DiffServ evoluiu do padrão IntServ (Integrated Services) do IETF. Ele elimina muita da complexidade

proveniente do Resource Reservation Protocol (RSVP) para configurar e separar reservas de QoS.

DiffServ elimina a necessidade do uso do RSVP e utiliza o campo "Type of Service (ToS)" encontrado no cabeçalho de pacotes IPv4. O campo ToS foi originalmente direcionado pelos projetistas do IP para suportar características iguais a QoS, permitindo especificar grandes ou pequenos atrasos a aplicações, confiabilidade, e requerimentos de throughput, porém nunca foi usado de uma maneira global bem definida. Devido o campo ToS ser um elemento padrão de cabeçalhos IP, DiffServ é razoavelmente compatível com o mecanismo IP existente e pode ser implementado em larga escala via upgrades de software ou firmware.

DiffServ pega o campo ToS (8 bits), denomina ele como byte DS (DiffServ) e o re-estrutura para definir parâmetros de QoS IP. O byte DS irá determinar como os roteadores tratam um pacote. Ao invés de tentar identificar e gerenciar fluxo de tráfego IP como o RSVP e o MPLS devem fazer, DiffServ faz considerações de QoS como na prática normal de roteamento IP de pacote por pacote, ou salto por salto.

Decisões de encaminhamento são feitas de acordo com parâmetros definidos pelo byte DS, e são manifestadas num comportamento salto-por-salto (Per-Hop Behavior - PHB). Por exemplo, o PHB padrão numa rede DiffServ é o serviço tradicional de melhor esforço (Best Effort - BE) usando o sistema de enfileiramento primeiro que chega, primeiro que é servido ("First-in-First Out - FIFO). Outros PHBs são definidos para melhores classes de serviços. Um exemplo é o "Expedited Forwarding (EF)". Quando pacotes EF entram em um roteador DiffServ, eles são tratados em filas mais curtas e rapidamente servidos para manter baixa a latência, perda de pacotes e jitter.

Outro PHB é o “Assured Forwarding (AF)” que permite prioridade variável porém assegura que os pacotes cheguem numa ordem apropriada.

O roteador DiffServ (DS-Rtr) é capaz de tratar ToS, e desta forma ele lê o campo PHB (Per Hop Behavior) ou campo precedente em cada pacote para determinar o nível de serviço requerido. O tráfego é então encaminhado de acordo com o requerimento de nível de serviço definido. Por exemplo, o tráfego marcado para serviço premium (*premium service - P*) é tratado de acordo com a especificação para serviço premium.

O DiffServ padroniza a classificação de PHB, marcando e colocando em ordem de prioridade os procedimentos que devem ser executados, porém ele deixa os fornecedores e provedores de serviço livres para desenvolver seu próprio modelo de PHB. Fornecedores de roteadores podem definir parâmetros e características que eles acharem importante para fornecer controle efetivo de QoS. Os provedores de serviço por sua vez podem determinar combinações de PHB para diferenciar a qualidade em seus serviços prestados.

Desta forma, caso a rede não exista ou já exista e seja transformada em DiffServ, as combinações de PHB poderiam ser obtidas via ferramenta de simulação discreta com a modelagem dos diversos tipos de tráfego e pesquisa de sua respectiva QoS. Vale salientar que a ferramenta de simulação discreta pode utilizar-se de arquivos binários gravados por um analisador de protocolos, sniffer ou ferramenta de gerência de rede, para simular o comportamento de tipos de tráfegos reais no modelo computacional. A ferramenta também poderia ser adaptada para colher amostragens do comportamento da rede, simular o modelo e redefinir parâmetros PHB dinamicamente com a intenção de garantir QoS, salvar recursos na rede, e melhorar o throughput.

5. ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO MPLS

O MPLS está ligado a tecnologias de comutação que foram desenvolvidas para trazer conceitos de comutação de circuitos ao ambiente de roteamento não orientado a conexão de redes IP.

Na atual especificação do padrão, os equipamentos MPLS de ponta de rede adicionam um rótulo de 4 bytes (32 bits) ao cabeçalho do pacote IP. É um esquema de encapsulamento IP, onde basicamente o rótulo fornece informação de roteamento que permite aos pacotes serem transferidos sobre o backbone usando caminhos pré-estabelecidos. Estes caminhos funcionam no nível da camada 3 ou podem até mesmo serem mapeados diretamente para a camada 2 tal como ATM ou Frame Relay. MPLS melhora a escalabilidade da Internet eliminando a necessidade de cada roteador e switch, para o caminho seguido por

um pacote, executar a análise redundante de endereços e cálculo de roteamento.

MPLS também permite o roteamento de backbone explícito, o qual especifica previamente os saltos que um pacote irá ter através da rede. Roteamento explícito irá dar ao tráfego IP uma aparência de conexões fim-a-fim sobre o backbone. Esta característica deve permitir uma performance mais determinística ou previsível, a qual pode ser usada para garantir QoS.

A definição MPLS de parâmetros IP para QoS é limitada. Dentro do total de 32 bits, um rótulo MPLS somente reserva 3 bits para especificar QoS. Roteadores de Comutação de Rótulos (Label - Switching Routers - LSRs) irão examinar estes bits e direcionar os pacotes para os caminhos que fornecem um nível de QoS apropriado. Porém os valores exatos e funções destes bits ainda não foram definidos.

O MPLS está mais voltado para arquitetura de backbone de rede e engenharia de tráfego do que com definição de QoS.

Neste caso também podemos usar uma ferramenta de simulação discreta para determinar os caminhos que cada tipo de tráfego deve selecionar para garantia de QoS.

6. ACESSO COM QoS

A solução de QoS está relacionada com o fornecimento, alocação e controle de largura de banda e isto deve ser feito primeiramente nos pontos de acesso da rede. Onde o tráfego entra na rede, os usuários devem estar aptos a classificar e atribuir prioridades a seus fluxos de tráfego de acordo com as políticas de negócio em questão. Os requisitos devem então ser mapeados para diferentes níveis de serviços oferecidos pelos provedores de rede.

O DiffServ confia nos condicionadores de tráfego instalados nos pontos de acesso da rede para executar esta função de acesso de QoS. Os condicionadores de tráfego são periféricos de acesso a rede que tratam 4 requerimentos chaves: classificação de tráfego, marcação, adequação e policiamento.

- A classificação seleciona os pacotes que entram na rede baseado nos campos de cabeçalho ou parâmetros de payload e determina a eles filas apropriadas de QoS.
- A marcação é um processo de configurar o byte DS de acordo com as políticas configuradas no condicionador de tráfego. Neste ponto os pacotes são transformados em tráfego DiffServ. Segundo [3], as ferramentas de simulação poderiam ser utilizadas para a seleção adequada do byte DS que atende ao QoS solicitado.

- A adequação permite ao condicionador de tráfego usar de políticas para adequar a largura de banda do canal ao espaço de buffer necessário. Para isto a reserva de espaço de buffer é feita, permitindo intensidade de rajadas de tráfego menores.
- O policiamento permite ao condicionador de tráfego monitorar o comportamento do tráfego (por exemplo: rajadas) e gerenciar o throughput pela marcação de pacotes (em situações como: fila para processamento, em fila de espera, descartado).

7. QoS DE BACKBONE

Como vimos em nosso estudo, existem 2 escolhas para fornecer aos backbones de rede IP a capacidade de suportar QoS fim-a-fim. A primeira altera a arquitetura de encaminhamento de tráfego IP até ela passar a funcionar igual a um ambiente de comutação de circuitos. Esta é a solução MPLS.

A Segunda simplesmente fornece largura de banda suficiente através do backbone da rede, a qual garante os níveis de serviços acordados. A dificuldade em fornecer QoS a fluxos de tráfego variado pode ser evitada pelo fornecimento de largura de banda suficiente para atender as necessidades do cliente.

Se um provedor de serviços vende 10 contratos para tráfego tipo *premium*, com garantia de serviço em 1 Mbps cada, então 10 Mbps de largura de banda deve ser fornecido através do backbone. Assim como outros serviços de dado, como o "*Committed Information Rate - CIR*" do frame relay, throughput garantido custa mais que tráfego rotulado como tipo "*best effort*" porém ele pode ser obtido.

Podemos ver via [9, 11] que os provedores de serviço podem melhorar a capacidade de largura de banda de seus backbones pelo uso de tecnologias como o DWDM.

8. CONCLUSÃO

Apresentamos um estudo onde fizemos uma proposta de QoS para Redes IP. Verificamos que o DiffServ é mais que um modelo para gerar QoS para a Internet. Ele é uma abordagem que pode ser implementada com a ajuda de técnicas de simulação para definição de PHB (*Per-Hop Behavior*) e tecnologias que seguem as especificações do IETF. A solução deve funcionar porque ela responde aos requerimentos de QoS fim-a-fim sem alterar a natureza não orientada a conexão do IP.

Quando o MPLS for usado ele deverá melhorar a engenharia de tráfego do backbone de redes IP. Porém o controle de acesso de tráfego a rede via DiffServ é o passo mais importante a ser seguido para QoS em redes IP. Com o controle de acesso para de-

finições de QoS e gerenciamento da rede nas pontas, os provedores podem gerar níveis de serviço com razoável granularidade. As definições de QoS para determinados tipos de serviços poderiam ser realizadas via ferramenta de simulação durante a operação do sistema ou não.

Estender o uso de QoS através do backbone para assegurar desempenho fim-a-fim pode ser conseguido com o fornecimento suficiente de largura de banda de canal que suporte os acordos de níveis de serviço relacionado com os tipos de tráfego de um determinado usuário. Concluímos que, com ou sem MPLS, provedores de serviço podem obter QoS no backbone através da oferta a redes IP da largura de banda que foi prometida no ponto de acesso da rede. Esta largura de banda pode ser conseguida via DWDM.

A combinação de controle de acesso e um backbone preparado é a chave para a solução de QoS em redes IP. Isto pode ser implementado sem uma mudança significativa na arquitetura de rede existente, pois a proposta trabalha com o IPv4, e pode satisfazer as necessidades de clientes que desejam IP como sua alternativa de WAN.

REFERÊNCIAS

- [1] **Betini, R.C., Kameda, H., Nakanishi, T.**, "Comparison of routing Algorithms in WAPSN by Simulation," *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 13, no. 1, pp. 29-34 (1993).
- [2] **Betini, R. C., Kameda, H., Shimizu, K.**, "Routing and Flow-Control Mechanisms in Different WAPSN Topologies," *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 14, no. 3, pp.27-32 (1994).
- [3] **Betini, R. C., Kameda, H., Shimizu, K.**, "Flow-Control and Routing Algorithms in WAPSN," *Computer Communications*, vol. 18, no. 5, pp. 345-356 (1995).
- [4] **Bhatti, S. N., Crowcroft, J.**, "QoS-Sensitive Flows: Issues in IP Packet Handling," *IEEE Internet Computing*, pp. 48-57, July-August (2000).
- [5] **McWherter, D. T., Sevy, J., Regli, W. C.**, "Building an IP Network Quality-of-Service Testbed," *IEEE Internet Computing*, July-August (2000).
- [6] **Metz, C.**, "IP over 2000: Where Have We Been and Where Are We Going ?," *IEEE Internet Computing*, pp. 83-87, January-February (2000).
- [7] **Roberts, L.**, "Internet Founder Ponders the Web's Future," *IT Pro*, pp. 16-20, September-October (2000).
- [8] **Russel, E.C.**, "*Building Simulation Models with SIMSCRIPT II.5*," CACI, Inc., Los Angeles, California (1995).
- [9] **Samueli, H.**, "The Broadband Revolution," *IEEE Micro*, pp.16-26, March-April (2000).
- [10] **Trecordi, V., Verticale, G.**, "QoS Support for Per-Flow Services: POS vs. IP-over ATM," *IEEE Internet Computing*, pp. 58-64, July-August (2000).
- [11] **Varshney, U.**, "Recent Advances in Wired Networking," *IEEE Computer*, pp.107-109, April (2000).