

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO

Marco Antônio da Silva

Um SLA para VoIP e seu mapeamento em uma rede
DiffServ/MPLS

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Prof. Roberto Willrich, Dr.
Orientador

Prof. Roberto Alexandre Dias, Dr
Co-orientador

Florianópolis, Julho de 2005.

Um SLA para VoIP e seu mapeamento em uma rede DiffServ/MPLS

Marco Antônio da Silva

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação, Área de Concentração Sistemas de Computação e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

Raul Sidnei Wazlawick
Coordenador do Curso

Banca Examinadora

Prof. Roberto Willrich, Dr.
Orientador - UFSC

Prof. Roberto Alexandre Dias, Dr.
Co-orientador – CEFET/SC

Prof. , Dr. Luiz Fernando Rust da Costa Carmo
UFRJ

Prof. , Dr. Vitório Bruno Mazzola
UFSC

Agradeço, sobretudo, a Deus por sentir que ele sempre está ao meu lado em todos os momentos da minha vida, permitindo momentos como este.

Agradeço em especial minha esposa Jania, e meus filhos Marco Antônio Júnior e Mateus Marcos, pelo apoio e compreensão durante todo este período.

Aos meus familiares principalmente aos meus pais Vidomar e Lúcia a quem eu me orgulho muito.

Aos Profs. Roberto Willrich e Roberto Alexandre Dias pela competência e empenho a fim de enriquecer este trabalho e sempre a disposição quando precisei.

Ao Christofer Viana e Rafael Baldissera, que me auxiliaram na elaboração e execução dos testes para validação do trabalho.

SUMÁRIO

Capítulo 1. Introdução	5
1.1 Objetivo da Dissertação	3
1.2 Estrutura da Dissertação	4
Capítulo 2. Qualidade de Serviço	5
2.1 Parâmetros de Qualidade de Serviço	6
2.2 Requisitos de QoS em Aplicações IP	7
2.3 Acordo do nível de serviço - SLA	8
2.3.1 Tipos de SLA	9
2.3.2 Componentes do SLA	10
2.4 Arquiteturas de QoS	13
Capítulo 3. Serviços Diferenciados	16
3.1 Visão Geral de Funcionamento	16
3.2 Campo DS	17
3.3 PHB	18
3.4 Classes de Serviço	21
3.5 Domínio DS	21
3.6 SLA/SLS	23
3.7 Mecanismos para Qualidade de Serviços	24
3.7.1 Classificação de pacotes	24
3.7.2 Condicionamento de Tráfego	25
3.7.3 Aplicação dos mecanismos para qualidade de serviços	27
3.7.4 Mecanismos de diferenciação de serviços	28
3.7.5 Prevenção de congestionamento	29
Capítulo 4. Multiprotocol Label Switching	30
4.1 Componentes de uma rede MPLS	31
4.1.1 Forwarding Equivalence class - FEC	32
4.1.2 Label Switched Path - LSP	33
4.1.3 Modos de Controle do LSP	34
4.1.4 Label Edge Routers (LER)	34
4.1.5 Roteador de comutação por Rótulo (LSR)	35
4.1.6 Modelo Básico de Rede MPLS	35
4.2 Operação do MPLS	35
4.2.1 Protocolo de Distribuição de Rótulos (LDP)	36
4.2.2 Funções do LER	37
4.2.3 Funções do LSR	37
4.2.4 Encaminhamento em IP convencional e comutação por rótulo	38
4.3 Integração DiffServ e MPLS	39
Capítulo 5. Voz sobre IP	41

5.1	Conversores Analógicos/Digitais	42
5.2	Buffer de Jitter	42
5.3	Rede TCP/IP	43
5.3.1	UDP	43
5.3.2	RTP	44
5.3.3	RTCP	44
5.4	Codificadores e Decodificadores	44
5.5	Empacotamento da voz	46
5.6	Protocolos de sinalização e transmissão da voz	48
5.6.1	Padrão H.323	48
5.6.2	Padrão SIP	49
5.7	Métodos de avaliação da qualidade da voz	49
5.7.1	E-Model	50
5.8	Fatores que influenciam na qualidade da VoIP	51
5.8.1	Banda	52
5.8.2	Atraso	52
5.8.3	Variação de atraso	53
5.8.4	Perda de pacotes	53
5.9	Categorias de Qualidade [Tiphon, 1999]	54
Capítulo 6. Definição de um SLA para VoIP e implementação numa rede DiffServ/MPLS		56
6.1	Visão Geral da Proposta	57
6.2	SLA VOIP	58
6.3	Parte Administrativa/Legal – Nível da aplicação	59
6.4	Especificação do Nível de Serviço (SLS)	64
6.4.1	Especificação da Qualidade de Serviço	64
6.4.2	Percentual de banda utilizada	69
6.5	Configuração da Rede DiffServ/MPLS	70
6.6	Estudo de Caso – Cliente Virtual S.A.	74
6.7	Testes de Qualidade de Voz oferecida por uma rede DiffServ/MPLS	80
6.7.1	Ambiente de Testes	80
6.7.2	Descrição do Serviço	81
6.7.3	Especificação da QoS	82
6.7.4	Configuração de Rede	83
6.7.5	Medição e Geração do Tráfego VoIP	86
6.7.6	Resultados da Medição da Qualidade	87
Capítulo 7.	Conclusão	88
Capítulo 8.	Referências	90

Lista de Acrônimos

TCP	Transmission Control Protocol
AF	Assured Forwarding
ANS	Advanced Network and Services
ATM	Asynchronous Transfer Protocol
BA	Behavior Aggregate
BE	Best Effort
CRTP	Compressed Real Time Protocol
DiffServ	Differentiated Services
DSCP	Differentiated Service CodePoint
EF	Expedited Forwarding
FTP	File Transfer Protocol
HTTP	Hiper Text Transfer Protocol
IETF	The Internet Engineering Task Force
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunications Union
LAN	Local Area Network
LDP	Label Distribution Protocol
MOS	Mean Option Score
MPLS	MultiProtocol Label Switching
PDU	Protocol Data Unit
PHB	Per-Hop Behavior
QoS	Quality of Service
RFCs	Request For Comments
RSVP	Resourse Reservation Protocol
RTP	Real Time Protocol
SLA	Service Level Agreement
SLS	Service Level Specification
UDP	User Datagram Protocol
VAD	Voice Activity Detection
VoIP	Voz sobre IP

RESUMO

Muitas aplicações necessitam garantias de desempenho que as redes IP por si só não fornecem, como garantia de banda e controle de atraso. Algumas ferramentas são utilizadas dentro da rede IP para fornecer a qualidade necessária a estas aplicações, como a arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ) e a tecnologia MPLS (Multiprotocol Label Switching). Uma das aplicações que exigem certos níveis de qualidade da rede é a voz sobre IP (VoIP). Para permitir a garantia da qualidade dos serviços que o provedor deve fornecer ao seu cliente, são definidos contratos de Acordo do Nível de Serviço (SLA), onde estão descritas as especificações do nível de qualidade a ser fornecido. Este trabalho propõe um SLA para VoIP que permite ao cliente definir quais níveis de qualidade de voz percebida ele necessita, e a provedora mapear estes níveis em parâmetros de desempenho de rede que ela deve garantir. Também são investigados os aspectos de configuração de uma rede DiffServ/MPLS para atendimento do nível de qualidade de serviço. Foram realizados testes num ambiente real, com geração e medição de tráfego para avaliar o comportamento da rede, de acordo com a escolha da qualidade de serviço definida dentro da proposta de SLA.

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

Com a necessidade de redução dos custos em ligações telefônicas, aliada ao crescimento do mundo da Internet e o incremento dos requisitos das aplicações transmitidas nesta rede, desenvolveu-se a tecnologia de voz sobre IP (VoIP). Esta tecnologia integra as redes de voz dentro das redes de dados, permitindo que os sinais de voz trafeguem sobre as plataformas de dados, utilizando a arquitetura TCP/IP como transporte dos sinais de voz.

A VoIP se apresenta como uma excelente solução para as empresas, em virtude da redução dos custos. Em qualquer segmento de mercado, as empresas necessitam ser competitiva para sobreviverem. Assim sendo, elas dependem cada vez mais da redução de seus custos e a VoIP pode ser um diferencial dentro do mercado. Por exemplo, uma empresa que possui 2 unidades (matriz e filial) entre localidades distantes, pode economizar os gastos com as tarifas telefônicas, utilizando o transporte da voz sobre a rede de dados existente entre estas 2 unidades.

Um grande fator que promove a utilização da VoIP é a facilidade em implementação e disponibilidade no mercado, pois existem muitos fabricantes e provedores fornecendo produtos de VoIP, que atendem as expectativas principalmente da redução de custos em chamadas telefônicas, alguns provedores que atualmente fornecem os serviços de VoIP são: BrasilTelecom (<http://www.brasiltelecom.com.br>), Vonage (<http://www.vonage.com>), GVT(www.gvt.com.br), Tellfree (<http://www.tellfree.com.br>), Simphonia (<http://www.simphonia.com.br>), Skype (<http://www.skype.com>) entre outros.

Os protocolos padrões na área de telefonia IP [Hersent, 2002], como H.323, MGCP (Media Gateway Control Protocol), MEGACO (Media Gateway Control Protocol) e SIP (Session Initiation Protocol), possibilitam a formação de redes com fabricantes diferentes. Outra vantagem da VoIP é permitir a integração das redes de dados e voz, possibilitando a diminuição dos custos de implantação e gerência da rede, pois não seria necessário possuir uma gerência exclusiva para cada segmento (voz e dados).

O maior desafio da VoIP é oferecer a qualidade de voz sobre redes de pacotes com qualidade semelhante as redes de telefonia convencional. As operadoras de telefonia convencional fornecem atualmente os serviços de voz com excelente qualidade, pois utilizam os sistemas de comutação a circuito que estão disponíveis no mercado a muito tempo. As tecnologias de rede e protocolos da telefonia convencional estão maduros, permitindo o fornecimento de um serviço com grande disponibilidade e nível muito bom da qualidade da voz. A VoIP utiliza a comutação de pacotes, que é uma tecnologia de rede estatística, e que devido as suas características de banda, atraso e congestionamento, torna uma tarefa muito difícil para os provedores fornecerem serviços de voz sobre IP com qualidade próxima as redes de voz convencionais.

Outro desafio das atuais operadoras de telefonia fixa é se manter no mercado neste segmento, já que a maior parte de seu faturamento está nos serviços de voz, entre 70 a 95% [Brasil Telecom, 2005] [Telefonica, 2005], [Embratel, 2005], [Telemar, 2005]), sendo necessário desenvolver aplicações que integram o sistema convencional com a VoIP, para compensar possíveis perdas de faturamento neste segmento de voz.

Atualmente a rede Internet fornece um serviço do tipo melhor esforço. Isto é, o tráfego é tratado tão rápido quanto possível, porém não existe controle dos tempos de transmissão, nem controle de perdas de pacotes. Com estas características muitas aplicações sensíveis ao tempo de transmissão, variação deste tempo e perda de pacotes, como voz e vídeo, tornam seu desempenho comprometido, inviabilizando a sua utilização nesta rede.

Para implementação da VoIP é necessário preparar a rede para fornecer a qualidade de serviço (QoS) necessária para esta aplicação. Para se transmitir os sinais de voz é necessário definir e garantir os seguintes recursos: atraso provocado pela rede, variação do atraso, perda de pacotes e banda disponível. Atualmente várias soluções estão sendo implementadas pelos provedores com a intenção de permitir a qualidade necessária para transmissão de VoIP.

Devido à necessidade de manter a qualidade de voz, os clientes dos provedores/operadores devem contratar serviços de rede que permitem garantir certos limites de desempenho necessários para fornecer a qualidade desejada. Normalmente são feitos contratos entre os provedores e seus clientes que especificam estes valores, que são

chamados de Acordo de Nível de Serviço - SLA (*Service Level Agreement*) [Sturm 2000], que garantem e protegem tanto clientes como os provedores dos serviços contratados.

Com o objetivo de controlar e garantir a QoS necessárias para o atendimento aos SLAs, diversos provedores estão implementado em suas redes a arquitetura MPLS (*Multiprotocol Label Switch*) [Osborne 2003] com RSVP-TE (*Reservation Resource Protocol – Traffic Engineering*) [Osborne 2003], ou ainda CR-LDP (*Constrained Routing – Label Distribute Protocol*) [Osborne 2003] e DiffServ (Serviços Diferenciados) [Kilikki 1999]. Os provedores que implementam estas arquiteturas capacitam as suas redes para fornecer a qualidade necessária a todas as aplicações disponíveis no mercado, incluindo a VoIP.

O MPLS foi inicialmente concebido para acelerar o tratamento de pacotes em roteadores, e acabou resultando em importantes avanços na tecnologia de plano de controle IP, engenharia de tráfego, redes privadas virtuais (VPNs) e comutação em redes óticas.

O MPLS, por si só, não garante qualidade de serviço. Os modelos que fornecem ao MPLS a habilidade de policiar o tráfego e controlar a banda são o DiffServ, RSVP-TE e o CR-LDP. *DiffServ* é uma proposta onde os pacotes são marcados de acordo com classes de serviços pré-determinadas e que serão tratadas na rede de forma diferenciada. RSVP-TE é um mecanismo que sinaliza e reserva largura de banda no campo de controle da rede. CR-LDP é um protocolo semelhante ao RSVP-TE, porém possui mais recursos em relação a reserva de largura de banda.

1.1 Objetivo da Dissertação

Esta dissertação tem por objetivo propor um SLA para VoIP e o seu mapeamento em uma rede IP com DiffServ/MPLS. Dentro do SLA para VoIP, deve ser definido qual a qualidade da voz percebida pelo cliente e que a provedora deve manter. No SLA deve existir a possibilidade de escolha pelo cliente da qualidade da voz, quantidade de conexões simultâneas e períodos em que necessitará do serviço de voz. Para manter a qualidade de voz percebida, a provedora de serviço deve garantir que certos parâmetros de desempenho de rede precisam ser garantidos, para isto, ela precisa programar seus sistemas de modo que forneçam a qualidade solicitada. .

A especificação da qualidade da voz precisa ser mapeada em parâmetros de desempenho de rede, a fim de que seja possível controlar a qualidade de serviço que a rede deverá prover de modo a manter a qualidade de voz contratada pelo cliente. Diferentes soluções de QoS têm diferentes parâmetros de desempenho que podem ser controlados, outros parâmetros requerem a realização da engenharia de tráfego. O contexto deste trabalho está situado em uma rede DiffServ/MPLS. Os mecanismos que normalmente permitem a aplicação de QoS são: definição do tamanho de filas, algoritmos de leitura das filas e engenharia de tráfego.

Desta forma, além da definição do SLA em termos de parâmetros de qualidade de voz, este trabalho também propõe um procedimento para mapeamento destes parâmetros subjetivos em parâmetros de configuração de rede que devam ser aplicados dentro de um domínio DiffServ/MPLS.

Para comprovar o mapeamento proposto, utilizaremos um ambiente real fornecido por um provedor de serviço, onde será gerado e medido tráfego entre dois pontos da rede, através de ferramentas de geração e medição do tráfego. Após as medições os resultados serão avaliados e comparados para comprovar se as alterações realmente estão de acordo com as solicitações dos requisitos escolhidos pelo usuário.

1.2 Estrutura da Dissertação

O restante desta dissertação está organizado na forma que segue. O capítulo 2 apresenta conceitos básicos em Qualidade de Serviço importantes para o entendimento deste trabalho. Em seguida, no capítulo 3 é abordado a arquitetura de QoS DiffServ. No capítulo 4 é apresentada a tecnologia MPLS, que em conjunto com o DiffServ, pode oferecer o gerenciamento de QoS para as aplicações. Na seqüência, no capítulo 5 são apresentadas as características das aplicações de Voz sobre IP. No capítulo 6 será apresentado uma proposta de SLA para VoIP, definindo os requisitos básicos do contrato a ser negociado entre provedor e usuário da rede, e capítulo 7 a conclusão.

Capítulo 2. Qualidade de Serviço

A qualidade de serviço (QoS) está relacionada aos requisitos que a aplicação necessita, para fornecer os serviços que atenda as expectativas dos usuários. Uma QoS pode ser descrita como um conjunto de parâmetros que descrevem a qualidade (por exemplo, largura de banda, utilização de buffer, prioridades, utilização da CPU etc.). [Murhammer 2000] Os termos qualidade e serviço podem ser vistos como a capacidade do sistema em diferenciar tráfegos, ou tipos de serviços, de forma que as classes de tráfego possam ser tratadas diferentemente umas das outras. A qualidade de serviço pode ser descrita como um conjunto de parâmetros que determinam a qualidade de um fluxo de dados, por exemplo, largura de banda, utilização de buffers, prioridades, utilização de CPU, tempo de atraso, etc.

A rede IP básica oferece apenas uma Classe de Serviço, onde os pacotes são transmitidos de um ponto a outro sem qualquer garantia de uma largura de banda especial, retardo mínimo ou perdas de pacotes. O conceito de qualidade de serviço não foi considerado durante o nascimento do protocolo IP. As tecnologias de redes de pacotes inicialmente foram concebidas para transporte apenas de aplicações de transferência de dados, sem considerar as aplicações de áudio e vídeo, pois sua maior característica era manter a integridade dos dados, ou seja, os dados não poderiam ser alterados ou perdidos. Com o grande crescimento e utilização das redes IP no mundo, devido à disponibilização da grande quantidade de informações, baixo custo, facilidade em utilização e também do fácil acesso a rede, surgiram as aplicações de áudio e vídeo dentro desta rede, necessitando de ferramentas que permitissem este tipo de tráfego, fazendo com que fossem necessário novas tecnologias que permitissem a transmissão destas aplicações.

No modelo atual da Internet, que é de melhor esforço, onde o tráfego de pacotes é processado conforme a estratégia do primeiro a chegar, primeiro a ser atendido, isto significa que todos os pacotes têm a mesma prioridade, e que são processados nesta mesma seqüência.

Para os provedores de serviço a implementação de qualidade de serviço em seus produtos, se torna mais uma forma de aumento de receita, pois pode agregar mais serviços

ao seu portfólio de produtos, acompanhando as necessidades de novas aplicações que surgem no mercado.

Devido a esta característica foram desenvolvidas novas estratégias para oferecer serviços previsíveis na Internet, com o objetivo de atender as aplicações de áudio e vídeo, que estão sendo incorporadas à rede IP. Atualmente existem duas arquiteturas de QoS na Internet:

Serviços Integrados: fornecem ao modelo de rede IP melhoramentos para suporte a aplicações que requerem garantia de largura de banda e transmissões em tempo real, para uma seqüência de dados específicos, definindo como um fluxo de dados (stream), enviados de um determinado emissor para um determinado receptor.

Serviços Diferenciados: são definidos vários níveis diferentes de serviços, onde o tráfego é dividido em grupos com parâmetros de QoS diferentes. Esta arquitetura será estudada com mais detalhes no capítulo 3.

2.1 Parâmetros de Qualidade de Serviço

Para a especificação da qualidade do serviço para uma determinada aplicação, é necessária a definição de um conjunto de parâmetros de qualidade de serviço. Estes parâmetros são, portanto, quantificações de características que deve fornecer ao fluxo de pacotes.

Os parâmetros mais importantes para controle do sistema são os seguintes:

- **Vazão (taxa de transmissão):** é a taxa efetiva de bits trafegada na rede, medida em bits/s. Pode-se dizer que é a capacidade do sistema em transferir dados. A vazão da maioria das redes varia com o tempo, já que os recursos da rede são utilizados de forma estatística. Também podem ocorrer congestionamentos em determinadas rotas, ocasionando menor vazão durante esses períodos.
- **Atraso (latência):** é o tempo total entre o envio de um pacote, ou mensagem, a partir da origem até sua recepção no destino. É a somatória dos atrasos gerados pelos meios de transmissão e pelos equipamentos envolvidos na rota fim-a fim da transmissão, incluindo roteadores, switches, modems, etc. Do ponto de vista da aplicação, a latência (atraso) resulta em um tempo de resposta ou tempo de entrega

da informação. Os principais fatores que influenciam na latência são: o atraso de propagação do sinal no meio de transmissão, a velocidade da transmissão, e o tempo de processamento nos equipamentos da rede. Em redes WAN o efeito da latência é muito mais observado que em redes LAN. Os próprios *hosts* e servidores também geram atrasos que devem ser considerados se a medição for fim-a fim na aplicação.

- **Variação do atraso:** pode ser visto como a variação do atraso de entrega dos pacotes de um mesmo fluxo. A variação de atraso é gerada principalmente pela variação nos tempos de processamento dos pacotes pelos equipamentos de rede, como roteadores. Isto ocorre, em geral, devido às variações na quantidade de tráfego que cursa pela rede. Aplicações interativas de voz e vídeo, ou aplicações de tempo-real podem ser afetadas pela variação do atraso.
- **Taxa de perda de pacotes:** é a razão entre a quantidade de pacotes perdidos na rede e a quantidade de pacotes que foram transmitidos. Esta perda ocorre principalmente devido ao descarte de pacotes nos roteadores, durante períodos de congestionamentos, onde os *buffers* internos não comportam a quantidade de pacotes a armazenar. O processo de descarte depende de fatores como condicionamento do tráfego, enfileiramento e tratamento dos pacotes nos *buffers* internos. Também podem ocorrer perdas de pacotes no meio de transmissão, porém a grande incidência de taxa de erros está na última milha, onde normalmente é utilizado par metálico, sendo mais sensível à falhas.

2.2 Requisitos de QoS em Aplicações IP

Cada tipo de aplicação requer determinadas garantias nos parâmetros de qualidade de serviço, para permitirem a transmissão de modo aceitável, garantindo a qualidade necessária para aquela aplicação.

Os parâmetros de qualidade indicam quais características técnicas da rede, que a aplicações é sensível, e necessita ser fornecida. Uma são mais sensíveis ao atraso e variação de atraso, outras mais sensíveis à vazão e perda de pacotes, por exemplo. Nesta seção são estudados os requisitos de algumas aplicações IP, e seus parâmetros requeridos para fornecerem a qualidade de serviço necessária ao seu bom funcionamento.

Precisa-se considerar que nem todas as aplicações necessitam realmente de garantias fortes e rígidas quanto a QoS, pois funcionam satisfatoriamente com o serviço de melhor esforço da rede atual, que são as aplicações tradicionais. No entanto, as novas aplicações, multimídia em geral, exigem maior desempenho e confiabilidade da rede.

Existem diversos tipos de aplicações e com requisitos distintos, portanto para cada aplicação o nível de QoS necessário é diferente. Uma boa alternativa é juntar aplicações com comportamentos e requisitos semelhantes para obter grupos com necessidades de QoS parecidas, com o objetivo de facilitar o processo de negociação entre o provedor de serviço e o cliente. A classificação pode ser feita usando um critério de diferenciação em três grupos, segundo [Salsano 2000]:

- **Aplicações Multimídia Interativas** – onde os dados são trocados e apresentados imediatamente (Ex: vídeo-conferências e VoIP). Essas aplicações dependem principalmente da vazão, atraso e variação do atraso.
- **Aplicações Multimídia Streaming** – onde os dados são recebidos pelo destino e bufferizados antes da apresentação (Ex: áudio e vídeo on demand, educação à distância e internet TV). Essa aplicações dependem principalmente da vazão.
- **Aplicações de Missão Crítica** – onde os dados devem ser transferidos com integridade (Ex: B2B e on-line banking). Essas aplicações dependem principalmente da vazão e da taxa de perda de pacotes.

2.3 Acordo do nível de serviço - SLA

Quando uma empresa contrata serviços de rede de um provedor, é necessário algumas garantias para a empresa que está contratando o serviço, e também para a prestadora do serviço. Esta garantia é fornecida através de um contrato chamado de Contrato do Nível de Serviço - SLA(*Service Level Agreement*). O SLA é a ponto de referência para o controle da qualidade a ser fornecida, ou recebida por uma empresa.

O SLA é o contrato estabelecido entre o provedor de serviço e o usuário(cliente) da rede. Neste contrato normalmente estão os requisitos de qualidade e os compromissos financeiros, quando o fornecedor do serviço não faz parte da própria empresa, isto é, provedor e usuário são de empresas diferentes. Quanto maior a exigência do cliente em

relação aos requisitos de qualidade, maior o custo para implementação pelo provedor, e conseqüentemente maior é o custo repassado ao cliente, ocorrendo um ponto de equilíbrio, onde o cliente precisa avaliar o custo/benefício nas exigências da qualidade de serviço contratado.

Estes contratos de serviço são definidos dependendo das aplicações que cada cliente necessita, e de acordo com possibilidade do provedor em fornecer estes requisitos não apenas de rede, mas também da capacitação de sua mão-de-obra, pois além das características propriamente da rede(equipamentos), fazem parte também deste processo, as pessoas que administram o contrato, tanto na área administrativa, quanto na área técnica.

Um SLA define qual o nível de serviço será considerado aceito pelos usuários, e com possibilidade de ser atingível pelo provedor. Este é particularmente benéfico para o provedor do serviço, pois o ser humano naturalmente sempre quer mais e melhor, e o SLA determina quais são as obrigações e limites de cada parte (usuário e provedor).

2.3.1 Tipos de SLA

Existem três tipos de SLA[Sturm 2000], sendo In-House, externo e interno. Os princípios de implementação fundamentalmente são muito semelhantes, as diferenças estão na criação do acordo, na linguagem que é usada, e nas conseqüências que resultarão se os compromissos de níveis de serviço não forem atingidos.

- **In-House:** é quando o provedor de serviço e o cliente são da mesma empresa. Normalmente este é um acordo negociado entre o fornecedor de serviço, como departamento de TI, e um outro departamento dentro da mesma empresa.
- **SLA Externo:** é o contrato de serviço entre duas empresas
- **SLA Interno:** são geralmente acordos informais dentro de um departamento para conseguir determinados objetivos de desempenho.

O processo de criação do SLA segue vários passos. Cada processo de SLA deverá ser avaliado e estudado pela gerência responsável pela disponibilização de recursos para atendimento ao contrato, pois cada contrato normalmente requer padrões diferentes, visando atender as necessidades específicas para cada cliente. Sempre é obrigatória uma negociação prévia entre as partes envolvidas no contrato.

2.3.2 Componentes do SLA

Os componentes do documento que fazem parte do contrato são os seguintes conforme [Sturm, 2000]:

- Partes do contrato: são os 2 grupos que negociaram o contrato, sendo o provedor do serviço e o cliente.
- Termo: define o período de vigência do contrato.
- Escopo: define os serviços cobertos no acordo. Isto pode incluir que processo específico do negócio será coberto, em que períodos, dias ou semanas ou meses o serviço estará disponível. Esta seção não cobre os níveis de serviço a serem fornecidos.
- Limitações – são as definições sobre o que deve acontecer para que os níveis de serviço contratados sejam fornecidos. Basicamente qualifica os serviços definidos no escopo do contrato. Tipicamente as limitações são: volume (por exemplo, transações por minuto e tráfego máximo), topologia (pontos onde o serviço será entregue), e pagamento pelos serviços.
- Objetivos do nível serviço - são os níveis do serviço que os usuários e os fornecedores de serviço acordam. Estes objetivos incluem parâmetros como disponibilidade, tempo de atraso, conexões simultâneas entre outros. Cada aspecto do nível de serviço, como por exemplo, a disponibilidade, terá um nível alvo a se conseguir, que pode incluir duas medidas para cada aspecto: um nível mínimo-aceitável do serviço a conseguir, e um nível de serviço muito melhor, que se o fornecedor atingir, possa ser recompensado.
- Indicadores do nível de serviço – são os meios pelos quais estes níveis podem ser medidos. A melhor maneira medir níveis de serviço é pelo sentimento do usuário do sistema. O contrato necessitará documentar cada indicador do nível de serviço usado para medir os objetivos, especificando a origem dos dados de cada um.

- Penalidades – são as penalidades que devem ser inseridas no contrato se o provedor não atender as expectativas do contrato, que podem ser desde multa até o rompimento do contrato.
- Serviços opcionais – pode haver no contrato serviços adicionais que não são normalmente fornecidos, são serviços que podem ser oferecidos em condições excepcionais. Por exemplo, o provedor deve oferecer uma banda de acesso com o dobro da banda normal do contrato, em períodos solicitados pelo cliente para atendimento a uma demanda inesperada, como aumento de vendas no dia dos pais.
- Exclusões – são as especificações que não estão cobertas no contrato.
- Relatórios – são os componentes chaves do gerenciamento do nível de serviço. Estes relatórios fornecem os meios que determinam se o provedor de serviço está fornecendo seus compromissos no SLA. Assim, os relatórios devem indicar, e medirem os objetivos definidos no contrato. Ao discutir exigências de relatório, um SLA deve incluir a informação tal como o nome de cada relatório requerido, da frequência que cada relatório que esta sendo gerado, e os índices medidos.
- Administração - descreve a administração contínua do SLA e os processos que o envolvem, definindo a responsabilidade organizacional para supervisionar cada processo.
- Reavaliações - estabelece reavaliações regularmente programadas entre o usuário e o fornecedor de serviço.
- Revisões – são muito comuns, pois existem vários fatores como evolução das tecnologias, alteração da infraestrutura física do usuário, e muitos outros que contribuem para estas revisões. Quando é necessário executa-las, um novo contrato deverá ser escrito e assinado.
- Aprovações - assinaturas na linha pontilhada: o SLA é assinado, selado e entregue.

Os requisitos de qualidade estão definidos na Especificação do Nível de Serviço (*SLS – Service Level Specification*), onde são definidos os valores dos parâmetros que o provedor se compromete em fornecer ao seu cliente. O SLS especifica os parâmetros de qualidade de serviços que serão fornecidos aos clientes, isto é, a especificação da classe de serviço e suas características. Os parâmetros de mercado mais utilizados na definição do SLS são:

- Vazão (banda): taxa de transmissão de pacotes garantida;
- Atraso da rede: tempo de atraso entre 2 pontos da rede;
- Jitter: variação do atraso entre a chegada de pacotes;
- Perda de pacotes: é a taxa de perda de pacotes em relação a quantidade de pacotes transmitidos;
- Disponibilidade: é o percentual de tempo em que o serviço está ativo, e dentro dos parâmetros contratados pelo cliente, que normalmente são medidos mensalmente ou anualmente;
- Tempo máximo de solução de problemas: é o tempo em que o provedor leva para recuperar uma falha no serviço prestado;
- Períodos de garantia dos parâmetros de QoS: são os períodos do dia ou mês, onde o provedor se compromete em fornecer a qualidade contratada, por exemplo nos dias úteis das 08:00 as 18:00hs;
- Local onde é disponibilizado o serviço: é o endereço físico, tipo localidade, rua, avenida, numero, onde o provedor entrega o serviço;
- Quais são as informações utilizadas para marcar os pacotes, por exemplo portas UDP ou TCP, porta física de acesso ao provedor, endereço de origem ou destino;
- Como são classificados os fluxos de pacotes de acordo com as marcações previamente definidas;
- Como são definidos os perfis de cada fluxo de pacotes, por exemplo: taxa de pico, taxa média e tempo máximo do tráfego no pico;

- Qual é o tratamento aos pacotes que estão fora do perfil dos fluxos, que poderão ser descartados, conformados/suavizados (atrasados até que se situem dentro do perfil desejado), ou remarcados para outro tipo de fluxo.

Para avaliar e validar se o provedor está cumprindo o contrato SLA, este deve comprovar junto ao cliente as medições destes níveis. Para disponibilizar estas informações, o provedor deverá possuir ferramentas e metodologias necessárias para medir o desempenho do serviço prestado. Estas ferramentas e metodologias são chamadas de Gerência de Nível de Serviço (SLM – *Service Level Management*).

A Gerência de Nível de Serviço deve monitorar e controlar todas os processos que se relacionam com a qualidade negociada no contrato.

Para constatação se o acordo está sendo cumprido, os contratos devem exigir que o provedor disponibilize de preferência via WEB, dos relatórios referentes ao desempenho dos parâmetros do acordo do nível de serviço. Estes relatórios são normalmente disponibilizados on-line, com os dados coletados diariamente, mensalmente e anualmente.

Os dados que compõem estes relatórios são coletados diretamente dos componentes da rede, e o protocolo mais utilizado para coletar estes dados é o SNMP (Simple Network Management Protocol), que é um protocolo de gerenciamento de rede, do nível de aplicação da arquitetura TCP/IP.

2.4 Arquiteturas de QoS

Para implementar qualidade de serviço numa rede deve-se considerar que é um mecanismo fim-a-fim de garantia de entrega de informações. Assim, a implementação de QoS na rede implica em atuar nos equipamentos envolvidos na comunicação fim-a-fim visando o controle dos parâmetros afim.

O IETF tem proposto vários modelos de serviço e mecanismos para satisfazer a necessidade de QoS na Internet, proporcionando um melhor controle sobre o tráfego, na forma de priorização de certas aplicações (com certas restrições temporais) em detrimento do restante (tráfego essencialmente melhor esforço). Entre estes trabalhos estão o modelo Serviços Integrados/RSVP [Braden, 1994], o modelo Serviços Diferenciados [Blake1998] e o MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) [Rosen ,2001].

A solução MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) tem uma certa relação com a questão da qualidade de serviço em redes, pois um dos ganhos mais importantes com sua utilização é a simplificação da função de roteamento, reduzindo o overhead e as latências nos roteadores. É uma solução mais orientada para uma engenharia de tráfego de pacotes na rede do que para qualidade de serviço.

O funcionamento é baseado na marcação dos pacotes com um rótulo (label MPLS) de 20 bits, nos roteadores de entrada da rede. Os roteadores internos à rede verificam esses rótulos que indicam o próximo salto, e assim, sucessivamente encaminham o pacote até o destino de uma forma bastante rápida. Na saída da rede, o rótulo é retirado. Com os rótulos é possível estabelecer um caminho determinado de forma a utilizar as melhores rotas, menos congestionadas, e obter um desempenho melhor para o fluxo de dados.

Para a operação efetiva do MPLS faz-se necessário a distribuição dos rótulos entre os roteadores e a gerência dos mesmos. O protocolo LDP (*Label Distribution Protocol*) é um protocolo de sinalização desenvolvido com esta finalidade. O MPLS consegue melhorar as condições de operação na rede e isso leva a uma melhor qualidade de serviço, entretanto, o MPLS não provê controles específicos quanto à garantia de QoS na rede.

O modelo Serviços Integrados (IntServ - *Integrated Services*) visa a implantação de uma infra-estrutura para a Internet que possa suportar o transporte de áudio, vídeo e dados em tempo real além do tráfego de dados atual. QoS na arquitetura IntServ é garantida através de mecanismos de reserva de recursos na rede, onde a aplicação deve reservar os recursos que deseja utilizar antes de iniciar o envio dos dados, usando o protocolo RSVP (*Resource Reservation Protocol*).

O RSVP é um protocolo de sinalização que atua sobre o tráfego de pacotes IP numa rede (Internet, redes privadas, etc). É um protocolo eficiente do ponto de vista da qualidade de serviço (QoS) na medida em que provê granularidade e controle fino das solicitações feitas pelas aplicações. Sua maior desvantagem é a complexidade inerente à sua operação nos roteadores que, eventualmente, pode gerar problemas nos backbones de grandes redes, como das Operadoras.

Uma questão ser observada para definir mecanismos de qualidade de serviço, é que a necessidade de garantir QoS se mostra mais importante nos períodos de pico de tráfego,

quando a rede enfrenta uma situação de congestionamento ou de carga muito elevada. Nesta situação os mecanismos de QoS devem buscar soluções para decisões do tipo:

- Como alocar os escassos recursos, como banda de transmissão;
- Como selecionar o tráfego de pacotes;
- Como priorizar os pacotes;
- Como descartar pacotes, ou seja, quais e quando descartá-los.

Aderente a essas necessidades, o modelo Serviços Diferenciados (DissServ - *Differentiated Services*) foi introduzido pelo IETF devido às limitações no modelo *IntServ*. No DiffServ os pacotes são marcados diferentemente, na entrada da rede, para criar classes de pacotes. As classes recebem serviços, ou tratamentos diferenciados na rede, conforme definições pré-estabelecidas. Serviços Diferenciados é essencialmente um esquema de priorização de pacotes.

Um serviço pode ser caracterizado por alguns aspectos significativos relacionados à transmissão dos pacotes, de acordo com parâmetros como vazão, atraso, variação de atraso ou perda de pacotes. Além de DiffServ atender aos requisitos de QoS de aplicações heterogêneas, e diferentes expectativas de usuários, também permite uma tarifação diferenciada para os serviços providos pelas Operadoras. Nas próximas seções será mais detalhado o DiffServ em sua arquitetura, funcionamento e componentes.

Capítulo 3. Serviços Diferenciados

O modelo de Serviços Diferenciados é utilizado para prover uma qualidade de serviço em uma rede IP. Níveis diferentes de serviço podem ser reservados para grupos diferentes de usuários na Internet, o que significa que todo tráfego é separado em grupos com parâmetros de QoS diferentes. Este modelo é o mais utilizado em grandes redes, pois é muito flexível e fácil de implementar. O objetivo deste capítulo é apresentar as principais características do modelo de Serviços Diferenciados.

3.1 Visão Geral de Funcionamento

A arquitetura dos Serviços Diferenciados [Blake1998] realiza a diferenciação de serviços de comunicação com base na especificação e marcação do campo DS (Differentiated Service) do cabeçalho do datagrama IP. Os Serviços Diferenciados são oferecidos no interior de um domínio DS (Differentiated Services), que é composto por um conjunto de nós compatíveis com a proposta DiffServ

No DiffServ, a marcação do campo DS indicando o tipo de serviço que deverá ser provido pelo sistema de comunicação para este pacote. Essa marcação pode ser feita pelo roteador que liga o cliente à rede do ISP (roteador de borda) baseado na classificação MF (Multi Field). Outra alternativa é a marcação diretamente pela aplicação do cliente.

No ingresso ao domínio DS, os pacotes são classificados e é feito um condicionamento de tráfego para torná-los conforme ao perfil de tráfego previamente contratado. Os perfis são configurados pelo provedor de forma manual ou via sistema de sinalização. Como os perfis são dependentes das aplicações e necessidades do cliente, é fora do escopo da padronização DiffServ.

Dentro da rede DS, nos roteadores internos ao domínio, o campo DS é usado para determinar como os pacotes são tratados. O tratamento, também chamado de PHB (Per Hop Behavior) ou comportamento por salto, pode incluir diferentes prioridades envolvendo atraso de enfileiramento (escalonamento), diferentes prioridades na decisão de descarte na

sobrecarga de filas (gerenciamento de filas), seleção de rota, liberação de largura de banda, etc.

3.2 Campo DS

No DiffServ, os pacotes são marcados diferentemente para criar várias classes de pacotes, que serão tratadas de forma diferenciada através dos serviços disponíveis na rede. Os serviços são oferecidos conforme o BA, que é identificado através do DSCP (Differentiated Services CodePoint).

O DSCP está contido no campo DS (Differentiated Service) definido na RFC-2474 [Nichols 1998], conforme a figura 3.1. Esta definição substitui a definição do IPv4, onde o campo se chama *Type of Service*, ou TOS, e substitui a definição do IPv6, onde o campo se chama *Traffic Class*.

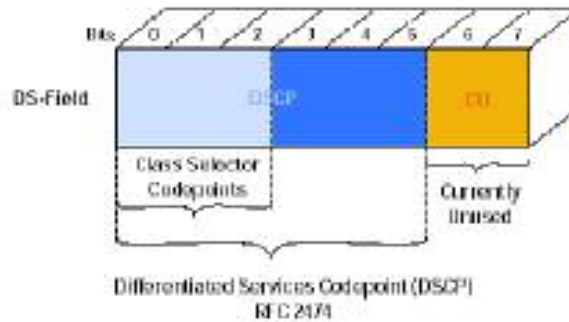


FIGURA 3.1 – ESTRUTURA DO CAMPO DS

O campo DS é formado por 6 bits (DSCP) usados para definir o comportamento por salto, ou PHB (Per-hop Behavior), que o pacote sofrerá em cada nó. Este campo é tratado como um índice de uma tabela que é usada para selecionar um mecanismo de manipulação de pacotes implementado em cada equipamento. Este campo é definido como um campo não estruturado para facilitar a definição de futuros PHBs, suportando até 64 valores diferentes, ou *codepoints*. O campo DS também possui dois bits CU (Currently Unused) reservados para o futuro.

Um nodo da rede (roteador) que seja compatível com *DiffServ* deverá usar todos os 6 bits do campo DSCP, e nenhum outro, para selecionar um PHB, fornecendo um serviço apropriado ao BA.

Com o objetivo de permitir o gerenciamento de *codepoints*, a RFC 2474 [Nichols 1998] sugere três conjuntos, com a seguinte definição:

- “xxxxx0” – conjunto de 32 valores que será usado com o propósito de padronização;
- “xxxx11” – conjunto de 16 valores com propósitos experimentais e uso local;
- “xxxx01” – conjunto de 16 valores que serão inicialmente usados para uso experimental e local, e poderão no futuro vir a ser usados para padronização.

3.3 PHB

PHB é o comportamento de encaminhamento observável externamente aplicado a um BA por um nó (roteador) suportando DiffServ. Num mesmo BA podem existir pacotes vindos de várias origens ou aplicações distintas.

Em outras palavras, um PHB refere-se ao comportamento de um nó com relação à marcação, enfileiramento, policiamento e condicionamento de pacotes pertencentes a um BA, de acordo com a configuração prévia do serviço a ser oferecido pelo domínio DS. É comum que vários PHB's sejam implementados num nó, permitindo a utilização eficaz dos recursos do nó e de suas conexões, sendo extensível a todo o domínio DS.

Existem quatro padrões de PHB disponíveis, e são apresentados a seguir.

PHB Default (DSCP = 000000)

Definido na RFC 2474 [Nichols 1998], especifica que um pacote marcado com este valor de DSCP, receberá do nó *DiffServ* o serviço tradicional de melhor esforço (Best Effort – BE). Se um pacote chegar a um nó DiffServ com seu DSCP não mapeado em nenhum PHB, este pacote será mapeado para o PHB Default.

PHB Class-Selector (DSCP=xxx000)

Definido na RFC 2474 [Nichols 1998], este PHB foi criado para preservar compatibilidade com redes que ainda empregam o esquema de precedência IP, definida na RFC 791. O valor de DSCP na forma xxx000, pode ter valores de x como 1 ou 0. Estes

valores são chamados *Class-Selector CodePoints*. O *codepoint* 0000 do PHB Default também é chamado de *Class-Selector CodePoint*.

Estes PHB's mantêm quase o mesmo comportamento que nós implementando classificação e encaminhamento baseados em precedência IP. Por exemplo, pacotes com DSCP=100000 (precedência IP 100 = primeiros três bits) devem ter tratamento de encaminhamento preferencial quando comparados a pacotes com DSCP=011000 (precedência IP 011).

PHB EF – Expedited Forwarding (DSCP=101110)

Definido na RFC 2598 [Jacobson 1999], o PHB EF é um ingrediente chave para DiffServ, e tem o objetivo de habilitar serviços fim-a-fim com baixo atraso, baixa variação de atraso, baixa perda de pacotes e vazão garantida. Aplicações como VoIP e vídeo requerem da rede um tratamento robusto, e o EF é indicado para estes casos. Este PHB pode ser implementado através de algumas técnicas distintas, segundo [Jacobson 1999]

Para eficiência máxima, o PHB EF deve ser reservado para as aplicações mais críticas, pois em momentos de congestionamento não é possível tratar o tráfego todo, ou na maior parte, com alta prioridade. O BA referente ao tráfego EF deve receber a vazão estipulada independentemente da intensidade de qualquer outro tráfego existente, objetivando diminuir a permanência dos pacotes em filas no interior dos nós, diminuindo o atraso e sua variação. Os roteadores de entrada na rede DiffServ, devem policiar e condicionar o tráfego EF de forma a assegurar que a taxa de chegada aos nós interiores esteja em conformidade com a taxa contratada, não permitindo que taxas maiores entrem na rede.

PHB AF – Assured Forwarding

Definido na RFC 2597 [Heinanen 1999], o PHB AF foi sugerido para aplicações que necessitam de confiabilidade e prioridade maior no tráfego de dados com relação ao que é oferecido pelo serviço melhor esforço (BE). O encaminhamento assegurado (AF) é composto por um grupo de PHB's que criam uma hierarquia de classes de serviço. A expectativa é obter o perfil das classes mesmo durante períodos de congestionamento.

Cada classe deverá exibir um comportamento diferente quanto ao método de encaminhamento, independente do comportamento de outras classes, sendo que cada uma

deverá apresentar níveis de precedência quanto à decisão de descarte de pacotes. Atualmente existem quatro classe definidas, com três níveis de precedência caracterizada em baixa, média e alta (maior probabilidade de descarte). A tabela 3.1 mostra os 12 valores de DSCP para as classes AF. Em caso de congestionamento no nó, a precedência determina a importância de cada pacote e influi no comportamento de descarte. Para manter compatibilidade com a precedência IP (RFC 791), é aconselhável que o serviço mais prioritário seja mapeado na classe AF4, e o menos prioritário na classe AF1.

TABELA 3.1 VALORES DO DSCP PARA CADA PHB AF

<i>Descarte</i>	<i>Classe 1</i>	<i>Classe 2</i>	<i>Classe 3</i>	<i>Classe 4</i>
<i>Precedência Baixa</i>	001010 (AF11)	010010 (AF21)	011010 (AF31)	100010 (AF41)
<i>Precedência Média</i>	001100 (AF12)	010100 (AF22)	011100 (AF32)	100100 (AF42)
<i>Precedência Alta</i>	001110 (AF13)	010110 (AF23)	011110 (AF33)	100110 (AF43)

Através do AF, a Operadora pode oferecer a seus clientes serviços com níveis diferenciados de QoS, porém, com menor garantia do que o serviço *Premium* (PHB EF). Como os serviços são diferenciados, os preços também podem ser (mais garantia, implica em maior preço). O serviço prestado depende da quantidade de recursos alocados para a classe AF do serviço, da carga atual desta classe e, em caso de congestionamento, do valor de precedência de descarte. Para cada classe AF deve estar alocado um mínimo configurável de recursos (buffer e largura de banda).

A garantia no modelo AF é que os pacotes marcados serão entregues com alta probabilidade enquanto o tráfego BA não exceder a taxa contratada definida no perfil de tráfego do usuário. No entanto, é permitido ao usuário exceder as taxas contratadas, mas ele deve estar ciente de que o tráfego excedente não terá a mesma probabilidade de entrega.

Um perfil associado a cada tráfego define o serviço esperado. Assim, um mecanismo de condicionamento de tráfego atua nas fronteiras do domínio DS, de forma a marcar os pacotes de acordo com sua conformidade ao perfil. Os roteadores de fronteira são responsáveis por manter a granularidade dos serviços.

Não é necessário implementar todos os níveis de precedência de descarte em cada classe AF, mas pelo menos dois. Isso fica a critério de cada empresa que venha a implementar o modelo AF, dependendo da quantidade de congestionamento esperada.

O PHB AF detecta e reage a congestionamentos de longa duração dentro das classes através do descarte de pacotes e também da remarcação de precedência.

3.4 Classes de Serviço

O modelo DiffServ não especifica os serviços ou classe de serviços a serem prestados por um provedor. É de responsabilidade deste (uma operadora de telecomunicações, por exemplo) decidir que classes de serviços vai disponibilizar a seus clientes. De uma forma geral pode-se dizer que um portfólio completo inclui serviços para voz, vídeo e dados com alguns níveis de prioridade. Segundo [Retiere 2002], além do melhor esforço poderiam ser disponibilizadas cinco classes de serviço como:

- Classe Voz – serviço otimizado para aplicações em tempo real, muito sensíveis ao tempo, como VoIP e sistemas de controle. Classe implementada com PHB EF
- Classe Vídeo Interativo – serviço para aplicações em tempo real de vídeo, como videoconferência. Classe implementada com PHB AF41.
- Classe Interativa – serviço para aplicações de negócios que exijam rápido tempo de resposta, consideradas críticas. Classe implementada com PHB AF31.
- Classe Negócios – serviço adequado para aplicações transacionais, comuns de negócios, como tráfego cliente/servidor e web corporativa. Classe implementada com PHB AF21.
- Classe Geral – serviço de mais baixo custo, para tráfego de negócios não críticos como e-mail e streaming de vídeo, como vídeo sob-demanda ou e-learning por exemplo. Classe implementada com PHB AF11.

É certo que a prioridade desejada para as aplicações varia conforme as necessidades de cada cliente, portanto os exemplos acima não são fixos.

3.5 Domínio DS

Os Serviços Diferenciados são oferecidos no interior de um domínio DS (Differentiated Services), que é composto por um conjunto de nós compatíveis com a proposta DiffServ e que compartilham uma mesma política de provisão de serviços e implementam um conjunto de comportamentos de encaminhamento.

Os serviços oferecidos por um domínio DS são todos para tráfego unidirecional e para tráfegos agregados, não fluxos individuais. Os tráfegos agregados também são chamados de comportamentos agregados (Behavior Aggregate – BA), e são definidos como conjuntos de pacotes que tem a mesma marcação no campo DS, e que atravessam um caminho na mesma direção. Esses pacotes podem vir de origens ou aplicações distintas.

A figura 3.2 representa um domínio DS, com nós de fronteira ou borda onde os fluxos são agregados (BA), e estes são encaminhados pelos nós internos (roteadores internos) para o destino. Os nós (ou nodos) de borda assumem, dependendo do sentido do tráfego tratado, o papel de nós de ingresso ou egresso do domínio. Portanto, na figura 3.2 o nó 1 representa um roteador de ingresso enquanto o nó 4 representa um roteador de egresso para os fluxos simbolizados. Na prática um domínio DS pode ser uma rede de uma empresa, universidade, operadora de telecomunicações, etc.

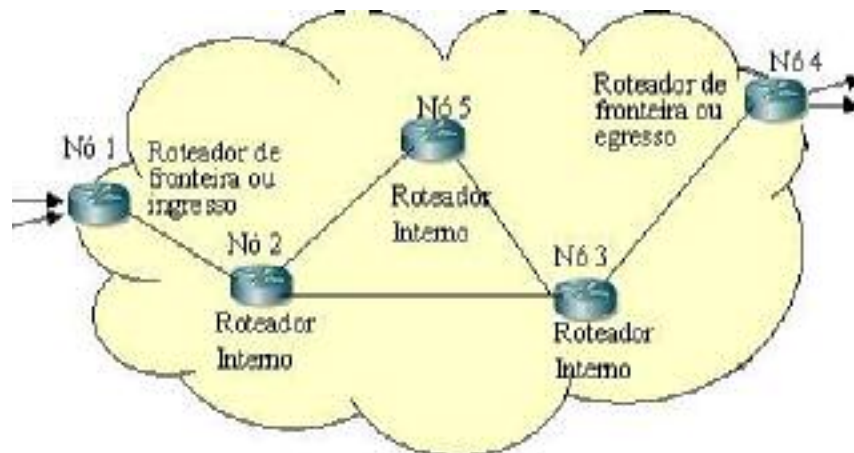


FIGURA 3.2 – DOMÍNIO DS

Nos roteadores de borda, que realizam a conexão da rede do usuário com o domínio DS, reside a maior complexidade do modelo DiffServ. Eles devem realizar as funções como classificação e condicionamento dos pacotes de cada fluxo entrante no domínio. Esses pacotes são transmitidos aos roteadores internos, na forma de fluxos agregados, ou BA's. O tráfego e processamento nos roteadores internos normalmente é maior, e visando não carregá-los ainda mais, no modelo DiffServ eles devem apenas encaminhar o BA conforme o PHB definido para o serviço.

Domínios DS também podem ser concatenados, ou seja, domínios diferentes podem estar ligados entre si. Também podem estar conectados a domínios não DS, tomando como

exemplo uma conexão de uma rede DS de uma Operadora com uma rede não DS de um Cliente.

3.6 SLA/SLS

Os serviços entre os domínios são definidos por um contrato, chamado SLA (*Service Level Agreement*), que especifica a forma de encaminhamento e garantias de prestação do serviço através do domínio DS. O SLS (*Service Level Agreement*), que faz parte do SLA, define garantias de parâmetros de QoS e inclui os perfis e as regras de condicionamento de tráfego que devem ser aplicadas aos fluxos de dados.

Na figura 3.3 é apresentada a arquitetura geral de domínios DS, onde podemos ver nós de borda (ingresso e egresso), nós internos (interiores), domínios DS, e onde é aplicado o SLA e SLS.

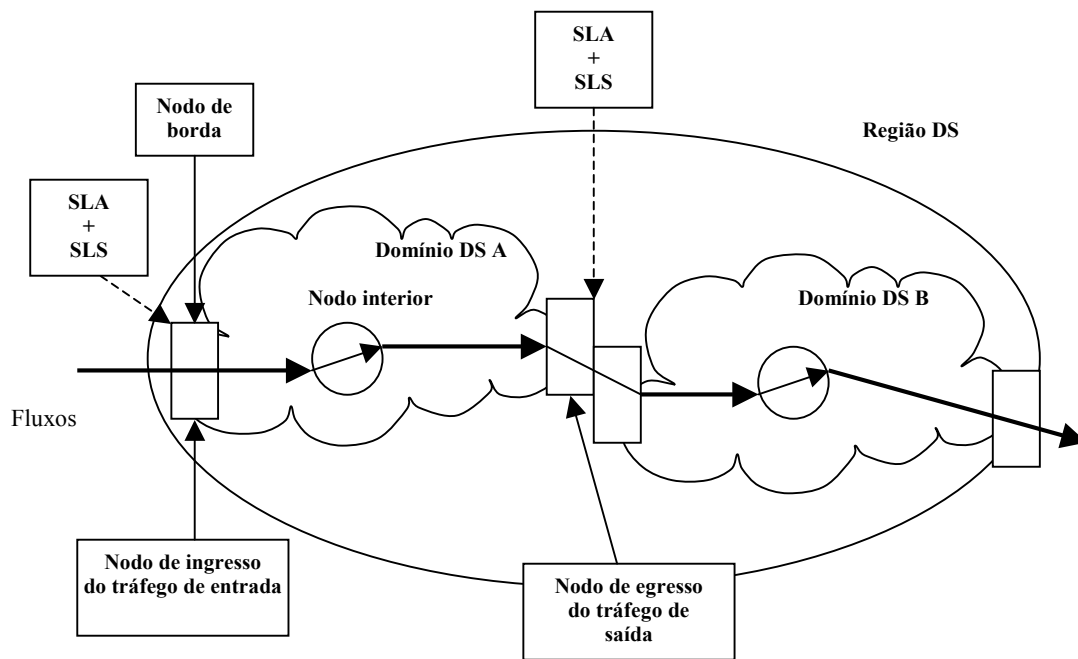


FIGURA 3.3 – ARQUITETURA GERAL DE DOMÍNIOS DS

No ingresso ao domínio DS, o roteador de borda classifica os pacotes e realiza o condicionamento de tráfego para torná-los conformes ao perfil de tráfego previamente contratado. As regras de classificação e condicionamento, assim como montante de espaço de bufferização e largura de banda nos roteadores são derivadas do SLA, mais

especificamente do SLS, de onde se constrói todo o perfil de tráfego do cliente. Um exemplo simples de perfil de tráfego poderia ser: medir o fluxo de pacotes do endereço IP a.b.c.d., e se sua taxa ficar abaixo de 384 Kbps, setar o campo DS para o valor X, senão setar o campo DS para o valor Y. Se a taxa exceder 512 Kbps, descartar os pacotes excedentes.

Os perfis são configurados pelo provedor de forma manual ou via sistema de sinalização, e são baseados no SLA/SLS. Como os perfis são dependentes das aplicações e necessidades do cliente, é fora do escopo da padronização DiffServ.

3.7 Mecanismos para Qualidade de Serviços

Para que seja possível implementar QoS nas redes IP é necessário o uso de diversos mecanismos nos roteadores. Estes mecanismos podem e devem ser usados para prover as facilidades de tratamento para dos pacotes conforme sugerido no modelo DiffServ. Também podem ser usados para objetivos mais abrangentes.

A figura 3.4 mostra os mecanismos básicos que devem estar presentes num roteador de borda compatível com DiffServ. Em seguida são apresentados esses mecanismos e também os mecanismos de diferenciação de serviços e prevenção de congestionamento.

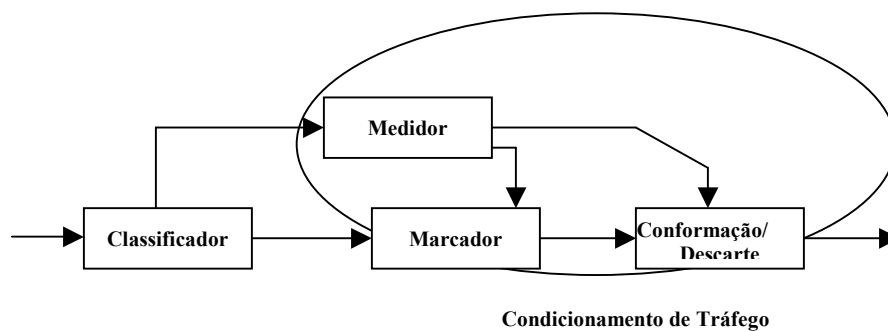


FIGURA 3.4 – MECANISMOS BÁSICOS PARA IMPLEMENTAR DIFFSERV

3.7.1 Classificação de pacotes

É necessário classificar os pacotes e depois condicioná-los para poder realizar o tratamento de QoS. O classificador de pacotes seleciona os pacotes de um fluxo de tráfego

baseado no conteúdo de campos do cabeçalho destes pacotes. DiffServ define dois tipos de classificadores de pacotes:

- **Comportamento Agregado (BA)** - seleciona pacotes através do valor do DSCP.
- **Multi-campo (Multi Field – MF)** - seleciona pacotes baseado na combinação de valores de um ou mais campos do cabeçalho, conforme [Nichols 1998]. Estes campos podem ser os endereços IP de origem e/ou destino, campo DS, protocolo e porta de origem e/ou destino do segmento TCP ou UDP. Também podem ser usadas outras informações para fazer a classificação como a interface física de entrada do fluxo.

A realização da classificação de pacotes de forma eficiente e consistente é o primeiro passo para uma implementação correta de DiffServ, e é uma questão ainda bastante discutida e pesquisada. Mais recentemente, com o advento das aplicações de voz e vídeo que usam o protocolo RTP com alocação dinâmica de portas, tornou-se necessário o desenvolvimento de técnicas mais avançadas para definir se o pacote RTP é de áudio ou vídeo. Alguns fabricantes já disponibilizam essa facilidade em seus roteadores. O fabricante CISCO Systems fornece o NBAR (*Network Based Application Recognition*) que permite fazer a classificação de pacotes baseado no protocolo que está sendo usado pela aplicação, podendo verificar informações das camadas 4 até 7.

3.7.2 Condicionamento de Tráfego

O condicionamento de tráfego está geralmente localizado nos nodos de borda do domínio DS, mas também podem estar em nós interiores. O condicionador de tráfego pode conter todos os blocos descritos a seguir, ou apenas alguns:

- **Medidor**: faz a medida do fluxo para determinar se um pacote está dentro ou fora do perfil de tráfego contratado no SLS. Esta informação é passada aos outros blocos para que ações distintas de condicionamento sejam aplicadas aos pacotes dentro do perfil e pacotes fora do perfil;
- **Marcador**: marca ou remarca o campo DS do cabeçalho do pacote para um valor DSCP específico, tornando-o pertencente a um determinado BA;

- **Conformador:** também chamado de suavizador de tráfego (*traffic shaping*) pois sua função é atrasar um ou mais pacotes, de um fluxo fora do perfil, até que estes estejam em conformidade com o perfil contratado, descrito no SLS, e possam ser encaminhados pela rede
- **Descartador:** também chamado de policiador, pois sua função é descartar pacotes fora do perfil, tomando por base regras descritas no SLS,

Os pacotes fora de perfil podem ser tratados de formas distintas, podendo ser descartados ou remarcados para uma classe menor através da função de policiamento do tráfego, ou conformados/suavizados até que fiquem dentro do perfil. Na prática, as funções de medição e conformação ou descarte são implementadas, principalmente, através do método *Token Bucket* (Balde de Fichas) e sua variante *Leaky Bucket* (Balde Furado ou Gotejador). Esse método presume a existência de um recipiente, ou balde, com capacidade para “b” tokens (fichas), e que será esvaziado a uma taxa constante “r”. Essa taxa é implementada através de um gerador de tokens.

O método *Leaky Bucket* é usado para limitar em determinado valor um tráfego entrante qualquer. Neste caso, a capacidade do balde comporta somente um único token, que será usado para a passagem de um pacote pelo regulador. Como a taxa de geração de tokens é “r”, a taxa de saída será limitada a esse valor. Isto pode ser visto na figura 3.5.

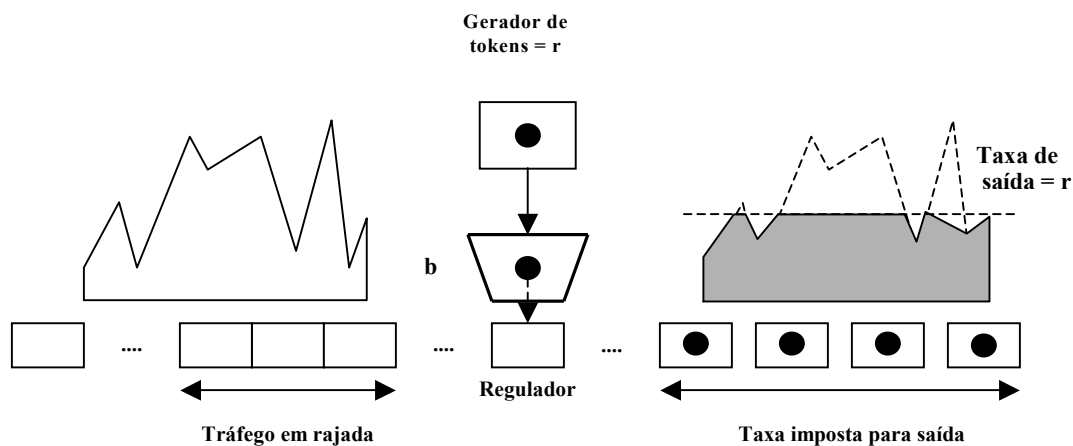


FIGURA 3.5 – LEAKY BUCKET OU LIMITADOR DE TRÁFEGO

O método *Token Bucket*, mostrado na figura 3.6, é usado para permitir tráfegos em rajada, mas de forma controlada. O controle é feito através da capacidade “b” estabelecida

para o balde em bytes. Este método acumula créditos (tokens) no balde para admitir os pacotes, e enquanto houverem créditos o tráfego entrante será aceito, mesmo que seja acima da taxa média “r” (rajada).

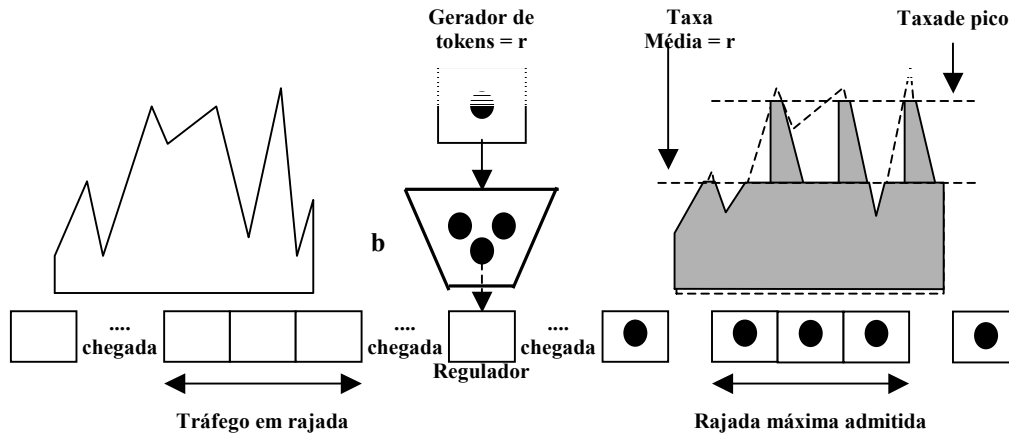


FIGURA 3.6 – TOKEN BUCKET OU CONFORMADOR DE RAJADAS

A utilização de dois Token Buckets, em série, proporciona uma configuração de duas taxas de rajada, uma considerada normal e uma considerada como excesso, que também poderá ser transmitida caso existam recursos. Acima deste limite os pacotes serão descartados ou remarcados (função de policiamento). Com a aplicação destes mecanismos pode-se condicionar o comportamento do tráfego para uma grande variedade de perfis.

Quando o token bucket é usado para função de conformação de tráfego, ele faz uso de um buffer de dados, onde os pacotes são armazenados, e atrasados, até que estejam dentro do perfil. Dessa forma, pacotes em rajada poderão ser transmitidos, gerando um tráfego mais constante e conformado dentro da taxa contratada. Para a função de policiamento de tráfego não existe o buffer, pois os pacotes fora de perfil são descartados ou remarcados para classes inferiores.

3.7.3 Aplicação dos mecanismos para qualidade de serviços

Todos os mecanismos apresentados possuem grande importância para a implementação de DiffServ, e são usados nos roteadores da seguinte forma:

- **Roteadores de ingresso** – efetuam classificação de pacotes tipo MF, em geral, e condicionamento de tráfego nos fluxos entrantes. Também podem aplicar o PHB apropriado, baseado no processo de classificação, através de mecanismos de diferenciação de serviços.

- **Roteadores internos** – efetuam classificação tipo BA e aplicam o PHB apropriado através dos mecanismos de diferenciação de serviços. Também devem fazer a prevenção de congestionamentos.
- **Roteadores de egresso** – normalmente efetuam conformação do tráfego nos pacotes de saída . Também pode fazer a classificação MF ou BA e remarcação de pacotes caso exista um SLA com o domínio de saída.

3.7.4 Mecanismos de diferenciação de serviços

Estes mecanismos proporcionam facilidades sobre as quais pode ser implementada a arquitetura necessária para obter o comportamento desejado das classes de serviços, identificadas pelos PHB's. Também durante momentos de congestionamentos na rede, estes mecanismos tentam garantir os parâmetros de QoS das classes. Esses mecanismos são compostos por dois elementos fundamentais:

- **Estrutura de filas** – é a utilização de várias filas para armazenamento dos pacotes e posterior reenvio. As filas são tratadas com prioridades distintas, possibilitando que os pacotes armazenados sejam encaminhados conforme o PHB desejado. A política de prioridades é a base do modelo DiffServ para obter a diferenciação nos serviços.
- **Escalonamento de pacotes** – mecanismo responsável, juntamente com a estrutura de filas, em colocar os pacotes na fila de saída e garantir que cada BA obtenha a parte dos recursos que foi prometida (contratada). A capacidade do canal de transmissão é dividida entre os BA's conforme definido pelos serviços contratados. Qualquer recurso disponível deverá ser distribuído de forma justa.

Na prática, é muito usado o método CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queueing) para obter filas com prioridades diferenciadas conforme a necessidade de tráfego das classes de serviço. Para obter uma fila com prioridade total sobre as outras, é usado o método PQ (Priority Queueing). A utilização desses elementos possibilita a implementação dos PHB's EF e AF do modelo DiffServ.

3.7.5 Prevenção de congestionamento

Essa técnica monitora as cargas de tráfego da rede com o objetivo de prever e prevenir congestionamentos. Baseia-se no controle dos fluxos de pacotes nas filas dos roteadores. Normalmente, sem a prevenção as filas tendem a encher até o limite, e os roteadores começam a descartar esses pacotes. O protocolo TCP verifica isso, e reduz a taxa de transmissão para diminuir o congestionamento, mas nem sempre é suficiente.

O mecanismo RED (Random Early Detection) previne congestionamentos através do descarte aleatório de pacotes antes da fila transbordar. Com estes descartes, o TCP reduz a taxa de transmissão e o congestionamento é evitado antes de acontecer. O início do descarte aleatório é programável no equipamento que está implementando o RED. A Cisco Systems adota uma variante chamada WRED (Weighted Random Early Detection), onde o descarte é iniciado em classes de tráfego com menor prioridade, contribuindo para o objetivo da arquitetura DiffServ.

Capítulo 4. Multiprotocol Label Switching

O MPLS (Multiprotocol Label Switching) é um padrão da IETF (*Internet Engineering Task Force*) que foi desenvolvido para oferecer a comutação do IP, com o objetivo de aumentar a velocidade de encaminhamento dos pacotes. Porém esta funcionalidade prevista para o MPLS, não trouxe melhorias significativas na velocidade de encaminhamento.[Osborne 2003]

O MPLS provê meios para separar o roteamento, da transmissão dos dados em redes IP. Num domínio MPLS, os roteadores localizados na borda da rede, chamados *Label Edge Routers – LER*, recebem os pacotes da rede tradicional, e adicionam no pacote rótulos (ou então retiram, se os pacotes estiverem saindo do domínio MPLS). Os rótulos indicarão o caminho a ser seguido, dispensando o roteamento para cada pacote nos roteadores internos à rede (*Label Switching Routers – LSR*), pois este caminho é pré-estabelecido. Estes roteadores internos realizam a comutação de rótulos (*Label Switching*), ou seja, verificam o rótulo do pacote no momento da chegada e o substituem por outro, encaminhando-o para seu destino. Essa substituição é realizada pela leitura em uma tabela de rótulos. O caminho estabelecido através deste conjunto(seqüência) de rótulo forma um caminho chamado(*Label Switched Paths – LSPs*). Estes caminhos são estabelecidos pelo protocolo de distribuição de rótulos (*Label Distribution Protocol - LDP*). O estabelecimento se dá pela troca de informações entre os LSRs e LERs e são realizados antes do início do tráfego de pacotes. Esses pacotes, ainda, são agrupados em classes de encaminhamento equivalentes (*Forwarding Equivalence Classes – FECs*), que devem receber o mesmo tratamento.

O grande motivador para implantação do MPLS são as aplicações permitidas com esta tecnologia, que são de difíceis realizações pelas redes IP tradicionais.

A grande vantagem na utilização do MPLS é o seguinte:

- Separação do roteamento e encaminhamento: O roteamento IP é tratado hop a hop, quando um pacote chega em um roteador, é examinado o endereço de destino no seu cabeçalho, que é verificado em sua tabela de rota, para definir

qual a interface de saída do pacote, caso não tenha esta informação em sua tabela este é descartado. Este processo é repetido a cada hop, até chegar a seu destino. Em uma rede MPLS os nós também encaminham o pacote hop a hop, porém este encaminhamento é baseado no rótulo, acrescentado ao pacote, e não mais nos endereços de destino.

- Facilidades na implementação de VPNs e engenharia de tráfego: O MPLS pode oferecer conexões de redes privadas sobre a rede IP, pois como o encaminhamento ocorre na comutação de rótulos, possibilita a interligação de redes privadas VPN – Virtual Private Networks, sendo transparente o endereço IP que está sendo transmitido através da rede. A engenharia de tráfego com MPLS oferece o melhor das técnicas orientadas a conexão, possibilitando melhor controle do tráfego dentro de uma rede IP.

4.1 Componentes de uma rede MPLS

Um dos principais conceitos do MPLS é a classe equivalente de encaminhamento FEC (*Forwarding Equivalence Class*) que define o caminho dos pacotes através de rótulos. Para uma FEC particular, a concatenação de caminhos comutados, forma um caminho unidirecional através da rede, conhecido como caminho comutado por rótulo LSP (*Label Switched Path*), ou seja, pacotes pertencentes a uma FEC comum, sempre pegam o mesmo caminho através do domínio MPLS. O LSP consiste de saltos comutados por rótulo "*Label Switched Hops*" entre pares de LSRs. A arquitetura MPLS emprega dois tipos principais de roteadores, LSR (*Label Switching Router*) que possuem somente interfaces puramente MPLS, possibilitando enviar o tráfego baseado puramente em rótulos, ou seja, trabalha somente com a camada 2. Para tratar os pacotes vindo das redes IP existe o LER (*Label Edge Routers*), que pode ser de ingresso ou egresso na rede MPLS, dependendo se o pacote está entrando ou saindo do domínio MPLS. Cada LSR e LER mantêm uma base de informação de rótulos conhecida como LIB (*Label Information Base*). A mesma é usada para dar encaminhamento aos pacotes.

Na figura 4.1 é mostrado a vista em bloco da estrutura MPLS.

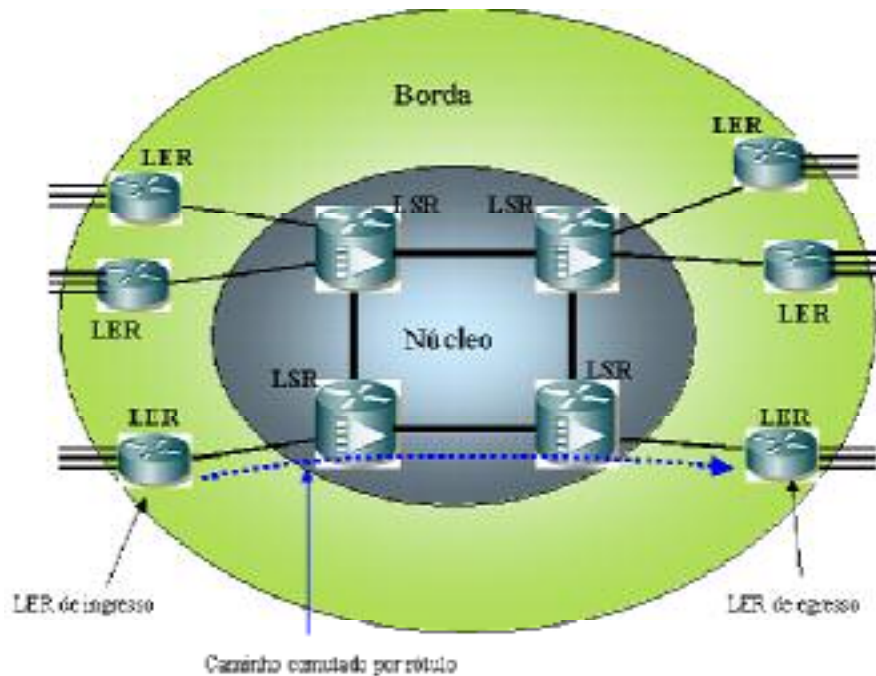


Figura 4.1 Vista em bloco da estrutura MPLS

4.1.1 Forwarding Equivalence class - FEC

A contribuição mais importante do MPLS é a possibilidade de introduzir o paradigma de conexão orientada nas redes IP. Por esta razão, os pacotes devem ser classificados em "fluxos" ou categorias, agrupando estes que devem ser tratados do mesmo modo. Uma categoria deste tipo é denominada FEC (*Forwarding Equivalence class*) em MPLS. Uma FEC pode ser definida como um atributo de pacotes que serão encaminhados da mesma maneira, ou seja, sobre o mesmo caminho com o mesmo tratamento de envio. Todos os pacotes pertencentes à mesma FEC seguirão o mesmo caminho no domínio MPLS. Uma vez que um pacote seja designado para uma FEC, ele é rotulado com uma identificação única da FEC à qual o pacote pertence. O mapeamento de um rótulo para uma FEC é denominado como uma amarração de rótulo. Cada LSR (*Label Switching router*) amarra um rótulo a todas as FECs que ele reconhece. O salto entre dois LSRs, nos quais o envio é feito usando rótulos, é conhecido como um salto comutado por rótulo (*Label switched hop*).

As FECs são mapeadas diretamente para os LSPs (*Label Switch Paths*). Uma FEC é definida como um grupo de pacotes de nível três, que podem ser encaminhados da mesma maneira. Uma FEC pode compreender o tráfego para um destino em particular, ou, mais

especificamente, compreender o tráfego para um destino particular com requisitos de tráfego distintos.

O MPLS permite que o pacote IP seja associado a FEC uma única vez, no roteador de entrada da rede MPLS (LER de Ingresso), mapear pacotes IP para a FEC requer um conhecimento do usuário que está transmitindo o pacote. Desta maneira pode-se fazer os filtros baseados no endereço de origem e de destino, interface de entrada, entre outras características. Assim o MPLS pode oferecer um método eficiente de associação de rótulo com a qualidade de serviço QoS (*Quality of Service*), associada a um pacote específico.

4.1.2 Label Switched Path - LSP

Um caminho comutado por rótulo LSP(*Label Switched path*) é um atributo dos LSRs através do qual pacotes pertencentes a uma certa FEC viajam a fim de alcançar seus destinos. Ele também pode ser conceituado como a concatenação de um ou mais saltos de comutação de rótulos, permite que um pacote seja enviado pela troca *swapping* de rótulo de um LSR para o outro. Para uma FEC particular, as concatenações dos saltos comutados por rótulos formam um caminho unidirecional através da rede, o qual é denominado como um caminho comutado por rótulo LSP (*Label Switched Path*).

Um pacote rotulado é enviado dentro da rede pela comutação baseada puramente neste rótulo, ou seja, o cabeçalho da camada três não é examinado de forma alguma. Além de melhorar a eficiência do envio, isto habilita o LSP a carregar informações dentro do núcleo da rede o que não pode ser obtido processando o cabeçalho da camada três. Por exemplo, pacotes não rotulados chegando na entrada da rede MPLS em diferentes portas podem ser determinados para diferentes FEC (e deste modo para diferentes LSPs). Esta informação é carregada pelo rótulo (identificando o LSP) dentro do núcleo de LSRs. porém no envio convencional, pode-se somente considerar informações que viajem com o pacote no seu cabeçalho.

O caminho que o pacote pega numa rede MPLS é determinado pelo protocolo de roteamento IP, diferente de IP sobre ATM, onde a parte de comutação da rede ATM é completamente obscura visto por um protocolo de roteamento IP. Já no MPLS os LSRs são completamente “visíveis” ao protocolo de roteamento IP.

4.1.3 Modos de Controle do LSP

Algumas FECs correspondem a prefixos de endereços que são distribuídos via um algoritmo de roteamento dinâmico. Os atributos dos LSPs para estas FECs podem ser feitos em um ou dois caminhos: Controle independente do LSP ou controle regular do LSP.

Controle Independente do LSP

No Controle Independente do LSP, cada LSR, reconhece uma FEC particular, toma uma decisão independente de amarrar um rótulo a essa FEC e distribuir essa amarração para seus pares de distribuição de rótulos. Isto corresponde ao caminho pelo qual trabalha o roteamento de datagrama do IP convencional; cada nó toma uma decisão independente no tratamento de cada pacote como tratar cada pacote, e confiam ao algoritmo de roteamento a rápida convergência assegurando assim que cada datagrama seja entregue corretamente.

Controle Ordenado do LSP

Em um controle ordenado do LSP, um LSR somente liga um rótulo a uma FEC particular se ele é um LSR de egresso para esta FEC, ou se ele já tenha recebido uma amarração para esta FEC do seu próximo salto para a FEC em questão.

Se alguém quer assegurar que o tráfego em uma FEC particular siga um caminho com a mesma especificação de propriedade (ou seja, que o tráfego não atravesse algum nó duas vezes, que uma soma especificada de recursos esteja disponível para o tráfego, que o fluxo de tráfego siga um caminho explicitamente especificado, etc), é necessário o uso do controle ordenado. Os dois modos podem ser usados simultaneamente, ambos são completamente compatíveis.

4.1.4 Label Edge Routers (LER)

Os Roteadores a Rótulo de Borda LER (*Label Edge Routers*) ou (*Edge LSR*) estão localizados nas bordas das redes, onde manipulam tradicionais funções de roteamento e providenciam a conectividade para os usuários da rede. Os LERs analisam e classificam os pacotes IP que entram na rede, adicionando pequenos rótulos que indicam qual caminho o pacote deve tomar. Os LERs são chamados de LSRs de ingresso *Ingress LSRs* e LSRs de egresso *egress LSRs*. O LSR *ingress* é o LSR que analisa os pacotes que estão entrando no

domínio MPLS e o *egress* é o LSR que analisa os pacotes que estão saindo do domínio MPLS.

4.1.5 Roteador de comutação por Rótulo (LSR)

Os Roteadores de comutação por Rótulo LSR (*Label Switching Routers*) estão localizados no núcleo das redes e desempenham uma alta performance de comutação por rótulos. Os LSRs encaminham pacotes, identificados por rótulos, ao longo de caminhos pré-definidos.

Label Switching Routers (LSR) Upstream e Downstream são termos relativos no mundo MPLS. Eles sempre se referem ao prefixo, mais apropriadamente a uma FEC.

4.1.6 Modelo Básico de Rede MPLS

Na figura 4.2 abaixo é visto o que se pode chamar de modelo Básico de uma rede MPLS onde estão apresentados os principais componentes de uma rede MPLS.

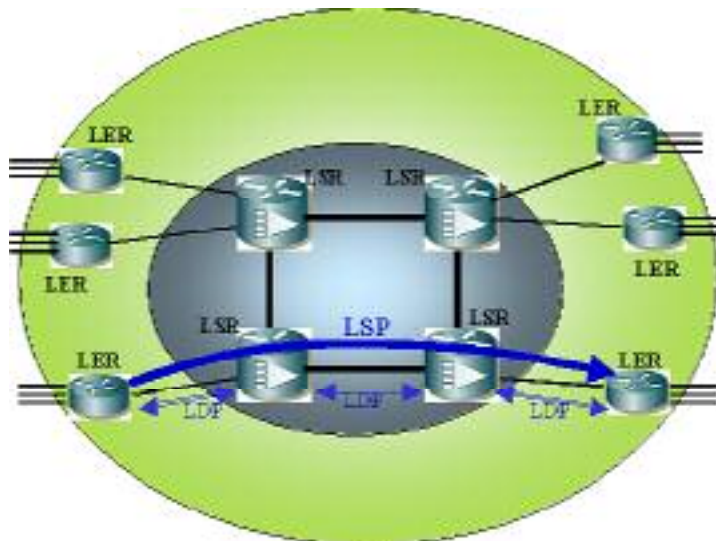


Figura 4.2 Modelo básico de rede MPLS

4.2 Operação do MPLS

O modo de operação do MPLS diverge do modo de operação do IP, pois os pacotes são analisados na camada três somente quando entram ou quando saem do domínio MPLS, este trabalho é feito pelo LER que além de analisar o cabeçalho IP faz a amarração do

rótulo com a FEC de destino, a partir daí o pacote é conduzido através da rede pelos LSR que manipulam apenas rótulos, como é demonstrado na figura 4.3.

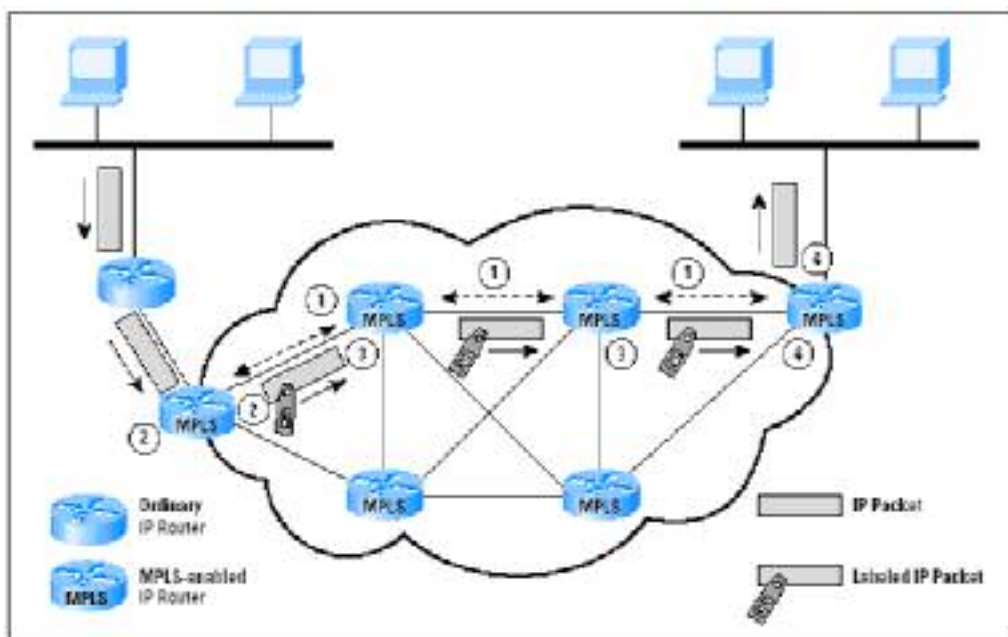


Figura 4.3 Exemplo de operação do MPLS

4.2.1 Protocolo de Distribuição de Rótulos (LDP)

O Protocolo de Distribuição de Rótulos LDP (*Label Distribution Protocol*) é uma especificação que permite a um LSR distribuir amarrações de rótulos aos seus pares de distribuição de rótulos. Quando um LSR designa um rótulo a uma FEC ele precisa deixá-la apropriada aos seus pares de distribuição de rótulos para eles tomarem conhecimento deste rótulo e o que ele significa. O LDP é usado para este propósito. Desde o momento em que o rótulo é atribuído ao pacote pelo LSR de ingresso até a saída pelo LSR egresso em um domínio MPLS, define-se um LSP e como os rótulos são um mapa da camada três (roteamento) para a camada dois (comutação de caminhos), o LDP ajuda a estabelecer uma LSP usando um atributo de procedimentos para distribuição de rótulos entre os pares de LSR.

O LDP também realiza negociação na qual dois pares de distribuidores de rótulos precisam empenhar-se a fim de aprender mutuamente sobre capacidades do MPLS (espaço do rótulo, encapsulamento, etc.) a arquitetura MPLS não assume que exista somente um simples protocolo de distribuição de rótulos. De fato, um número de diferentes protocolos

de distribuição de rótulos está sendo padronizado. Existem protocolos que foram estendidos para que a distribuição de rótulos possa ser sobreposta a eles (BGP, RSVP). Novos protocolos também foram definidos para a explícita proposta de distribuição de rótulos (LDP, CR-LDP).

4.2.2 Funções do LER

O LER pega um pacote IP e faz uma análise completa na camada três deste pacote. Antes que decida simplesmente qual o próximo salto como um roteador normal faria, o LER decide qual o caminho de entrada através da rede que o pacote deverá pegar. Tendo decidido qual caminho o pacote deverá pegar, o mesmo é enviado ao longo de um LSP. Um rótulo é fixado no pacote para identificar a qual LSP o pacote pertence. O rótulo é válido entre o LER e o primeiro LSR. O LER também chamado de LSR de borda (*Edge LSR*) situam-se na fronteira do domínio MPLS, e por isso tem também interfaces não MPLS, ou seja, por exemplo, interfaces Ethernet, portas seriais etc. Quando um pacote não rotulado destinado a entrar no domínio MPLS chega em uma interface não MPLS, o LER o designa a uma FEC e anexa o rótulo correspondente ao pacote. Por outro lado quando um pacote rotulado está para deixar o domínio MPLS o LER remove o rótulo do pacote e o encaminha usando o processo normal da camada três.

4.2.3 Funções do LSR

Um LSR é essencialmente um simples órgão de *hardware* com uma tabela de consulta e uma fila de saída para cada porta. O pacote que chega ao LSR contém um identificador de conexão (rótulo) o qual relaciona o pacote com um LSP particular. O comutador procura o rótulo na tabela de consulta e comuta o pacote para fila de saída apropriada, onde é fixado um novo rótulo para o destino do LSP à frente. Observando-se na figura 4.5 um pacote IP chega ao LER de origem, que por sua vez analisa o cabeçalho para verificar o endereço IP de destino, após verificação do endereço de destino o pacote é designado a uma FEC a qual é mapeada em um LSP, e um rótulo 4 é anexado ao pacote. Quando por exemplo o pacote com o rótulo (4) chega ao LSR, o LSR usando o rótulo, consulta à tabela de comutação e encontra o rótulo e a interface de saída. Troca o rótulo (4), pelo rótulo (9), que ao chegar ao LER de destino é analisado e tratado como um pacote IP normal, pois é tráfego terminado para este LER.

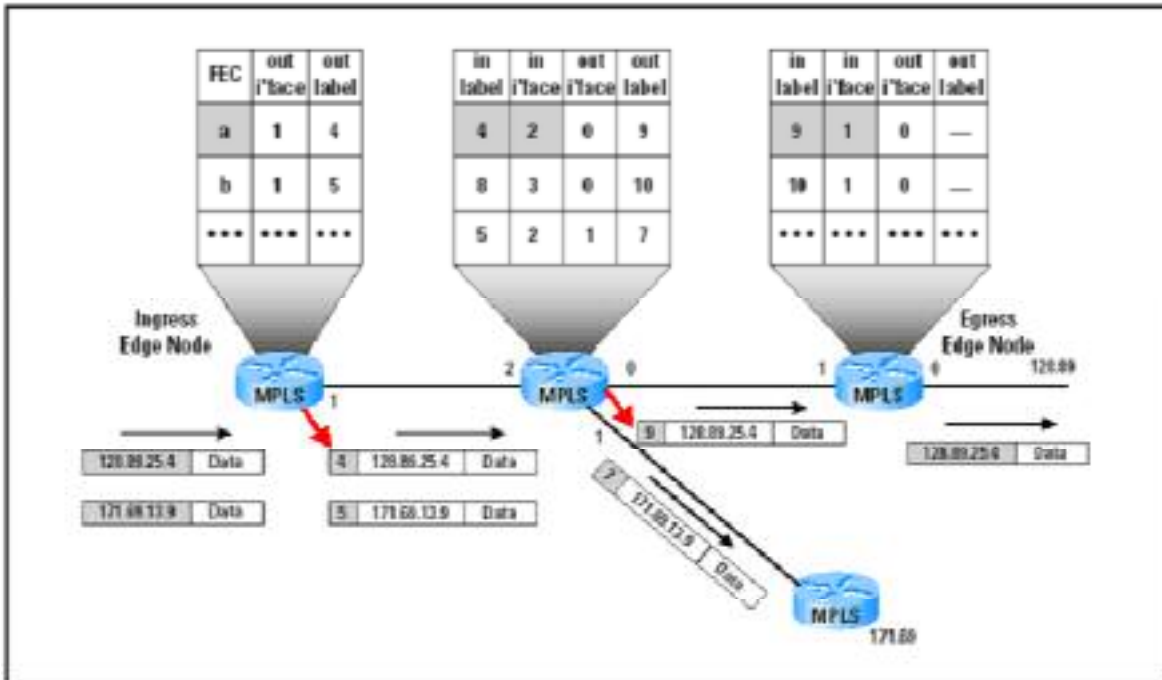


Figura 4.5 Funções do LER e do LSR

4.2.4 Encaminhamento em IP convencional e comutação por rótulo

Os benefícios da comutação por rótulo tornam-se aparentes quando comparada com o encaminhamento em IP convencional. Os cabeçalhos dos pacotes TCP/IP contêm consideravelmente mais informação do que é necessário para simplesmente escolher o próximo passo para encaminhamento do pacote.

No encaminhamento do pacote em IP convencional, o roteador sempre examina o cabeçalho de cada pacote a ele direcionado, e o encaminha à frente. No MPLS, a função de enviar um pacote à frente é feita sem que seja necessário analisar o cabeçalho do pacote, é analisado somente o rótulo. As informações contidas no rótulo são suficientes para o envio do pacote até o próximo salto da rede, e este procedimento é feito até o pacote chegar ao LER de egresso, onde o cabeçalho do pacote será analisado como um pacote IP convencional. Tem-se então atraso na análise do cabeçalho do pacote somente quando ele está entrando (LER ingresso) ou saindo (LER egresso) do domínio MPLS. Durante o tempo que o pacote está sendo encaminhado pelos LSR a perda de tempo na análise do cabeçalho é praticamente nula, tornando o encaminhamento do pacote mais rápido.

4.3 Integração DiffServ e MPLS

Para que se permita a marcação dos pacotes dentro de uma rede MPLS, utilizando a arquitetura DiffServ, é necessário a integração destas duas tecnologias. Um problema em relação às estas arquiteturas é que o DiffServ utiliza 6 bits no campo DSCP, e o MPLS apenas 3, assim sendo existem apenas 8 opções de valores de EXP, e 64 valores para DSCP. Porém na prática isto não provou ser um problema, pois praticamente nenhum provedor de serviços necessita oferecer serviços que requerem mais de 8 classes de serviço.

A RFC 3270 (Multiprotocol Label Switching Support of Differential Services) possui as definições para a integração de QoS entre estas arquiteturas. O MPLS possui 3 bits EXP no cabeçalho do rótulo, que são usados da mesma forma que os bits IP Precedence ou os bits CS do DSCP.

Existem 3 casos onde precisam ser avaliados:

- **Caso 1:** quando o pacote IP entra em uma rede MPLS, conhecido como ip2mpls. Normalmente os provedores copiam os bits mais significativos do campo DiffServ (os bits Precedence) , para o campo EXP, conforme figura 4.11.

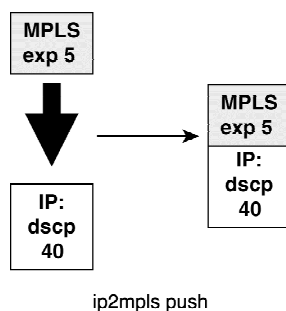


Figura 4.11 Empilhamento ip2mpls

- **Caso 2:** quando o pacote já tem uma ou mais rótulos, e necessita de mais um rótulo, isto é conhecido como mpls2mpls, onde o valor do campo EXP é copiado no novo rótulo. Três ações são possíveis no caminho mpls2mpls (Figura 4.12): **Empilhar:** um empilhamento mpls2mpls ocorre quando um ou mais rótulos são acrescentados a um pacote já rotulado; **Trocar:** uma troca mpls2mpls ocorre quando o rótulo mais externo de um pacote é trocado por outro rótulo; **Desempilhar:** um desempilhamento mpls2mpls ocorre quando um ou mais rótulos são removidos de um pacote, mas pelo menos um rótulo permanece.

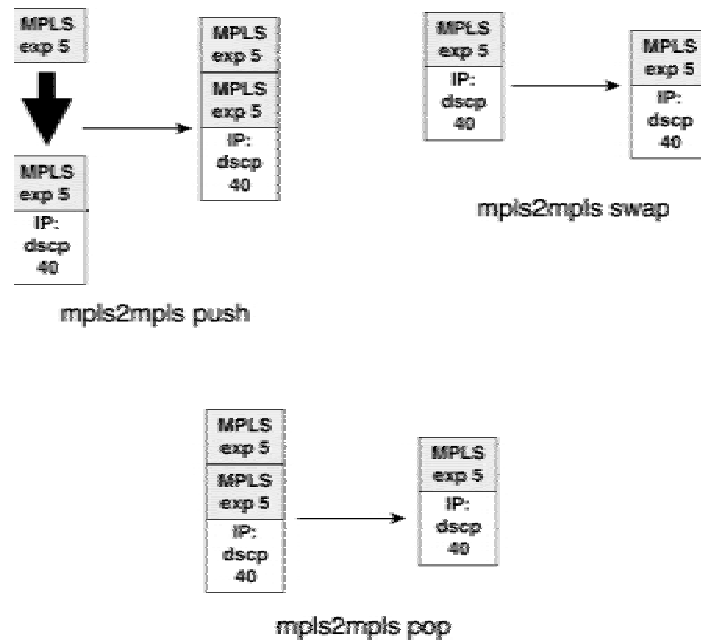


Figura 4.12 operações mpls2mpls

- **Caso 3:** quando o pacote sai da rede MPLS e tem seus rótulos removidos, isto é conhecido como mpls2ip, conforme ilustrado na figura 4.13.

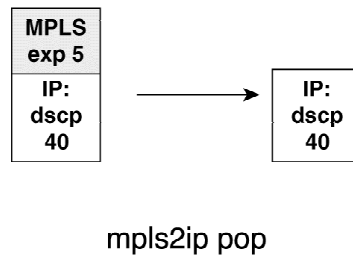


Figura 4.13 Desempilhamento mpls2ip

Cada provedor pode programar esta relação entre as duas tecnologias, isto é, entre os campos EXP e DSCP, para definição da qualidade de serviço que seus clientes necessitam.

Capítulo 5. Voz sobre IP

As chamadas telefônicas representam para as grandes empresas de telecomunicações a sua maior fatia da sua receita, e atualmente estão surgindo no mercado algumas alternativas por várias empresas em oferecer este mesmo serviço. A VoIP é a tecnologia que tem como objetivo utilizar a mesma infra-estrutura das redes de dados das empresas para trafegar dados, voz e vídeo.

Um grande desafio desta tecnologia é oferecer um serviço com a qualidade tão boa quando as redes de voz tradicionais. A atual rede de telefonia PSTN (Public Switch Telephone Network), é uma rede de comutação por circuitos, isto é, para cada conexão de voz é executada a comutação de um caminho dedicado permanente dentro da rede, normalmente com velocidade de 64Kbps, sendo que esta tecnologia está em uso a muitas décadas.

Com a explosão da rede internet, e aproveitando as suas vantagens foi desenvolvida a voz sobre a arquitetura TCP/IP, sendo a voz uma aplicação desta arquitetura. O maior desafio para transmissão de voz sobre IP é oferecer uma qualidade aceitável da voz.

Na figura 5.1 está o modelo de telefonia a pacotes de voz, onde grande parte dos usuários de redes podem através de um PC, equipado com placa som, alto-falante, microfone, acesso à rede e software de comunicação, permite a comunicação de voz. Estes softwares tratam o sinal de voz, digitalizando, compactando e encapsulando dentro dos pacotes IP.

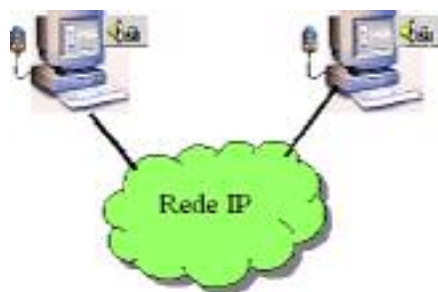


Figura 5.1 Telefonia a pacotes de voz

Para transmissão da voz sobre a rede IP, é necessário utilizar várias ferramentas para possibilitar a adequação do sinal de voz, que é um sinal analógico, para um sinal

digital. Os elementos que compõem o processo possibilitando a transmissão destes sinais sobre as redes IP, são os seguintes[Willrich 2000]: conversores analógicos/digitais, codificadores e decodificadores, buffer de jitter, e a rede TCP/IP, conforme mostrado na figura 5.2.

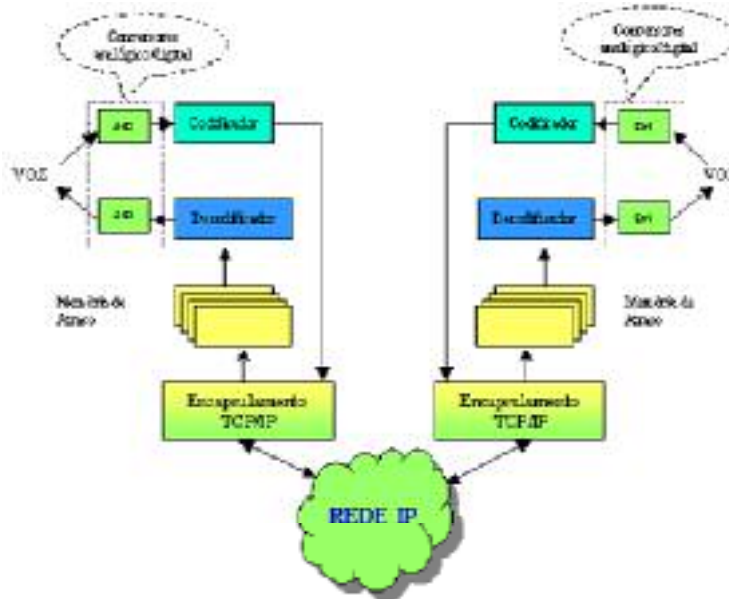


Figura 5.2 Componentes que possibilitam a transmissão da VoIP.

5.1 Conversores Analógicos/Digitais

São equipamentos que tem como função transformar o sinal de voz, que é um sinal analógico, em sinal digital, permitindo a transmissão deste sinal pela rede de dados, e converter o sinal digital em sinal analógico, permitindo recompor o sinal original no ponto remoto. Sinais analógicos são sinais que variam continuamente no tempo, e os sinais digitais caracterizam-se pela presença de pulsos com amplitude fixa.

5.2 Buffer de Jitter

É a memória que tem como função eliminar a variação de atraso dos pacotes de voz, para permitir a transmissão contínua destes pacotes, pois como o meio de transmissão é estatístico, os pacotes quando atravessam a rede TCP/IP, chegam com tempos de atraso diferentes, esta memória corrige este problema. Ver figura 5.3.

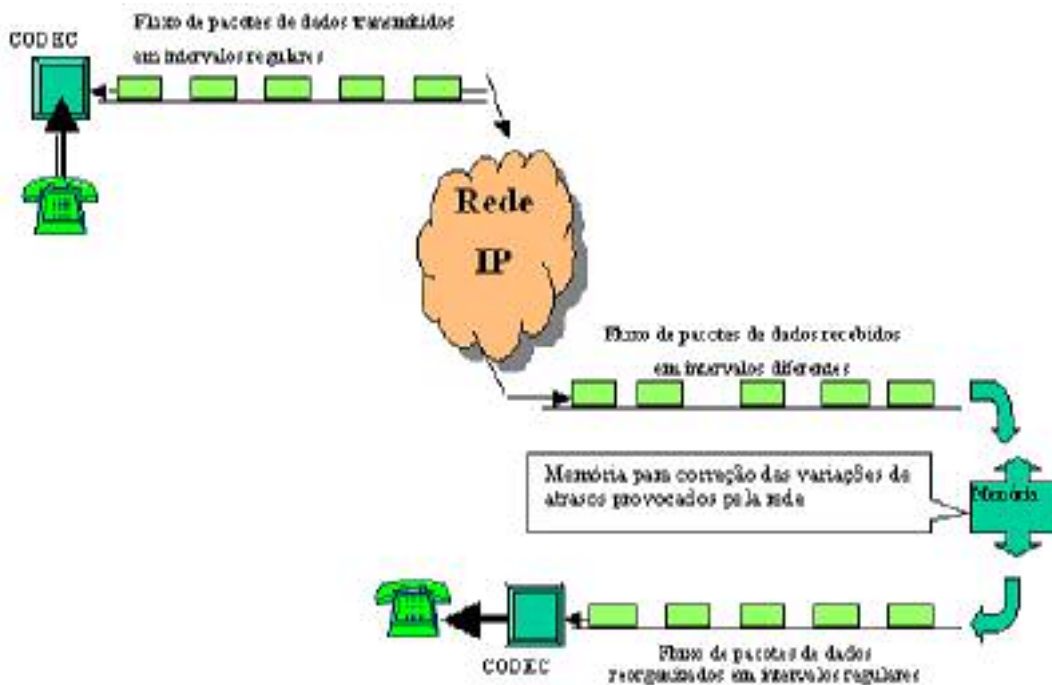


Figura 5.3 Buffer de Jitter

5.3 Rede TCP/IP

O modelo de rede que tomou conta do mercado foi o TCP/IP, a arquitetura de rede utilizada na Internet, pois esta rede teve um grande crescimento, sendo a maior rede de transporte de informações. Graças à facilidade em se ter acesso a Internet, e também a facilidade em se desenvolver aplicações dentro desta rede, é que surgiu a transmissão da voz sobre IP. Dentro da arquitetura de rede TCP/IP, existem vários protocolos, e para implementar a VoIP, é necessário o protocolo IP(Internet Protocol), responsável em entregar as informações de um ponto a outro, o protocolo de transporte UDP(Transmission Control Protocol), e o protocolo a nível de aplicação que é o RTP(Real-Time Transport Protocol) em conjunto RTPC(RTP Control Protocol).

5.3.1 UDP

O UDP é descrito na RFC 768, é a interface da aplicação com o IP, é utilizado como multiplexador para a transmissão e recepção de datagrama. O UDP é um protocolo que não possui correção de erros nem controle de fluxo, sendo considerado um protocolo muito leve, isto é, com pouco overhead, sendo ideal para transporte de aplicações que necessitam

baixo tempo de atraso e não requerem muita confiabilidade na perda de dados, tipo aplicações de voz e vídeo.

5.3.2 RTP

O RTP é um protocolo de transporte em tempo real que foi desenvolvido pelo IETF, é utilizado em aplicações em tempo real como videoconferência e transmissão de áudio. Normalmente o RTP é utilizado em conjunto com o UDP. O RTP não fornece confiabilidade e não garante a entrega dos pacotes, nem garante a entrega a tempo dos pacotes, ou fornece qualquer garantia da qualidade de serviço. O protocolo utilizado para monitorar as sessões RTP é o RTCP.

5.3.3 RTCP

O RTCP tem como principal função fornecer retorno sobre a qualidade da recepção dos dados do RTP. Esta função pode ser comparável às funções de controle de fluxo e congestionamento de outros protocolos. Ele produz dados estatísticos sobre os fluxos e contagem de pacotes tanto do emissor quanto do receptor.

5.4 Codificadores e Decodificadores

Um dos elementos mais importantes em toda a infraestrutura de VoIP, é o CODEC. Existem vários tipos de CODEC no mercado.

Estes equipamentos são responsáveis pela compressão e descompressão dos sinais de voz para reduzir a largura de banda necessária à transmissão. Os CODEC mais utilizados são: G.711, G.723, G.726, G.728 e G.729, que seguem as recomendações do ITU-T (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union), conforme tabela 5.1.

Codec	Taxa de bits no codec	Tamanho do pacote de voz	Atraso do algoritmo	Atraso de bufferização	Atraso na fonte	MOS
G.711	64 kbps	20 ms	0,125 ms	40 ms	20 ms	4,2 a 4,7
G.726-32	32 kbps	15 ms	0,125 ms	40 ms	20 ms	3,9 a 4,2
G.728	16 kbps	20 ms	0,625 ms	40 ms	20 ms	3,7 a 4,3
G.729	8 kbps	20 ms	5,0 ms	40 ms	25 ms	3,9 a 4,2
G.729A	8 kbps	20 ms	5,0 ms	40 ms	25 ms	3,7 a 4,2
G.723.1m	6,3 kbps	30 ms	7,5 ms	60 ms	67,5ms	3,8 a 4,0
G.723.1a	5,3 kbps	30 ms	7,5 ms	60 ms	67,5ms	3,3 a 3,7

Tabela 5.1 Principais tipos de CODEC

A taxa de bits gerada pelos CODEC G.729 e G.723.1a, são respectivamente 8Kbps e 5,3Kbps, sendo considerada como uma taxa de bits relativamente baixa em relação a taxa utilizada pela telefonia convencional de 64Kbps (CODEC G.711).

A qualidade terá como referência o Mean Opinion Score(MOS), que consideramos a mais utilizada pelo mercado, que segue a recomendação ITU P.800, descrevendo os métodos e procedimentos que avaliam a qualidade da voz

Os valores médios de MOS para os CODEC G.729(G.729 CS-ACELP) e G.723.1a(G.723.1 ACELP), são respectivamente 3,92 e 3,65 – (http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk701/technologies_tech_note09186a00800b6710.shtml). Os valores de MOS variam conforme tabela 5.2 abaixo:

Qualidade da Voz	Avaliação
Excelente	5
Boa	4
Regular	3
Pobre	2
Ruim	1

Tabela 5.2 Valores de MOS

A maioria dos codificadores de voz implementa um algoritmo de detecção de atividade de voz que usa uma largura de banda significativamente menor em períodos de silêncio que em períodos de voz ativa. Para a maioria dos codificadores, a taxa de transmissão de bits em atividade é constante, em períodos de silêncio, os codificadores mais simples possuem uma taxa de transmissão de bits nula, porém os codificadores G.723.1 e G.729, na verdade enviam um pouco de informação para descrever o nível de ruído de fundo e outros parâmetros. [Hersent 2002] A taxa de bits para transmissão

utilizando funções de detecção de atividade de voz [Soares 2002], é um modo eficiente em liberar dinamicamente a largura de banda, proporciona uma economia de até 50% da banda.

A análise de exemplos de comunicação de voz [Soares 2002] levou a representação de que 22% do que é falado, são componentes essenciais da comunicação e devem ser transmitidos para o entendimento do diálogo, outros 22% são padrões repetitivos, e o restante, 56%, representam as pausas durante as conversação.

Dado o comportamento da maioria dos codificadores de voz, devemos modelar a taxa de transmissão de bits única da rede durante uma conversação como sendo uma função caracterizada pela combinação dos tempos de voz ativa e os intervalos de silêncio. O índice de atividade “a” na figura 5.4 é definido como o limite para i tendendo a infinito da soma $(T_{ativo}) / (T_{silêncio} + T_{ativo})$. Um valor médio geralmente é 0,35, mas para uma maior garantia pode-se utilizar $a=0,50$ [Hersent 2002].

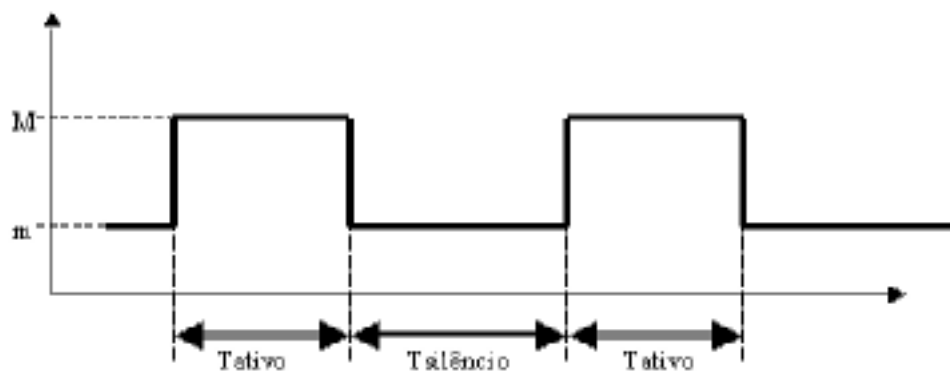


Figura 5.4 - Taxa de transmissão unidirecional de bits

5.5 Empacotamento da voz

Após digitalizada, a voz passa por processos de empacotamento dentro de vários protocolos, conforme mostrado na figura 5.4, onde são adicionados informações de controle que aumentam consideravelmente a quantidade de bits para o seu transporte.

Os codificadores geram um fluxo de dados originário do sinal de voz, de acordo com o tamanho do pacote de voz em milissegundos, este fluxo de dados a cada intervalo de tempo, é encapsulado dentro do RTP, sendo que o total de bits adicionado ao fluxo é de 96bits, o RTP é encapsulado dentro do UDP, sendo adicionado mais 64bits, que também é encapsulado dentro do IP, adicionando-se mais 160bits, sendo o total adicionado ao pacote

inicial de voz é de 320bits, até ao nível do IP, havendo um incremento considerável de informações que vão ser transferidas junto com o pacote de voz.

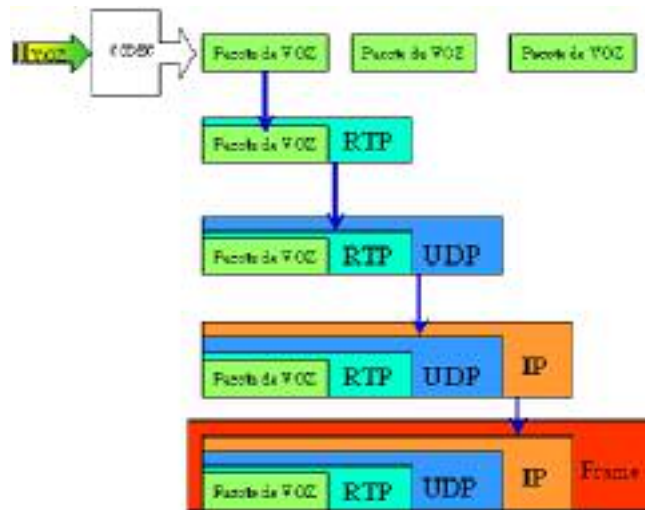


Figura 5.4 Empacotamento da voz

Abaixo temos um exemplo prático de quantos bits são adicionados aos pacotes de voz, para serem transmitidos através da rede TCP/IP, considerando um CODEC G.723.1a:

- 1 - CODEC G.723.1 gera pacotes de voz a cada 30ms
- 2 - Fluxo de dados gerados pelo CODEC = 5,3Kbps
- 3 – Pacote de voz gerado pelo CODEC = 160 bits
- 4 – Tamanho RTP = 96bits + 160bits = 256bits
- 5 – Tamanho UDP = 64bits + 256bits = 320bits
- 6 – Tamanho IP = 160bits + 320bits = 480bits
- 7 – Tamanho do frame nível 2 – FrameRelay = 48bits + 480bits = 528bits

Como pode-se ver, a quantidade de informações inseridas para transmissão de um pacote de voz é extremamente alta, neste caso em torno de 330%, sendo a taxa de bits gerada de 5,3Kbps, porém para ser transmitida necessita de uma taxa de transmissão de 17,6Kbps.

5.6 Protocolos de sinalização e transmissão da voz

Os padrões mais utilizados para controle das ligações e transmissão da voz em redes baseadas em pacotes, são o H.323, SIP, MGPC e MEGACO [Hersent, 2002].

Estes padrões definem os processos de controle e estabelecimento de comunicações de multimídia dentro de uma rede de pacotes.

5.6.1 Padrão H.323

O H.323 é um padrão do ITU-T para videoconferência usando multimídia em redes de comutação por pacotes.

Os componentes de uma rede H.323 são os seguintes:

- Terminais: são pontos de rede que permitem a comunicação bidirecional, em tempo real, com outro equipamento terminal, gateway ou MCU. Pode ser um equipamento telefônico com a funcionalidade de comunicação através do protocolo IP, um PC com provido com software específico e hardware multimídia para comunicação de voz.
- Gateways: são equipamentos que proporcionam a interoperabilidade entre terminais H.323 conectados via IP, e outros dispositivos tipo telefones convencionais, ligados em uma rede pública de telefonia.
- Gatekeepers: tem como funções principais de servidor de diretório, controle de admissão de conexões, controle de sinalização e banda para os terminais, MCU e gateway que se registram nele.
- MCU – Multipoint Control Units: fornece o gerenciamento de conferências, processamento dos meios de comunicação e o modelo de conferência de multiponto.

O protocolo H.323 possui um sub-conjunto de protocolos, conforme figura 5.5, responsáveis por várias etapas da comunicação entre os equipamentos que fazem parte da rede de voz por comutação por pacotes.

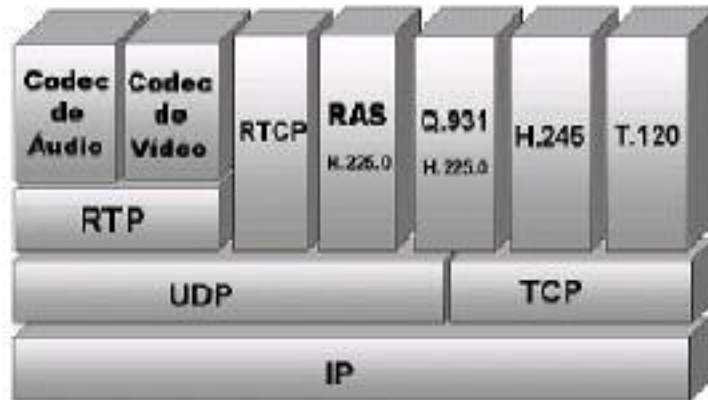


Figura 5.5 Pilha de protocolos H.323

5.6.2 Padrão SIP

O SIP é um padrão definido pelo IETF. É um protocolo da camada de aplicação, utilizado para gerenciar e controlar as conexões multimídia entre usuários, e tem como funções principais:

- Identificação e localização de usuários;
- Estabelecimento e controle de chamadas;
- Suporte a *unicast* ou *multicast*;
- Administração na participação de chamadas (transferências, conferência,...);
- Possibilita a interligação com terminais telefônicos convencionais, através dos gateways;

O SIP é um protocolo cliente-servidor similar ao HTML (*Hypertext Markup Language*), semelhante à sintaxe e semântica das estruturas empregadas, com campos explicitamente descritos.

5.7 Métodos de avaliação da qualidade da voz

A avaliação da qualidade da voz pode variar para cada usuário do sistema. Existem alguns métodos que avaliam a qualidade da voz, sendo os mais utilizados os seguintes:

- MOS (ITU P.800): Mean Opinion Score)

- PSQM (ITU P.861) / PSQM+: Perceptual Speech Quality Measure;
- MNB (ITU P.861): Measuring Normalized Blocks;
- PESQ (ITU P.862): Perceptual Evaluation of Speech Quality;
- PAMS: Perceptual Analysis Measurement System, desenvolvido pela British Telecom;
- E-Model (ITU G.107).

Os métodos indicados para serem utilizados em redes de pacotes são o MOS e o E-Model.

Para a transmissão da voz é necessário que o meio de transporte forneça alguns parâmetros que garantam a qualidade mínima desejada da voz.

5.7.1 E-Model

O modelo E-Model foi desenvolvido originalmente pelo ETSI (European Telecommunication Standards Institute) para atender às necessidades de planejamento de redes [Hersent 2002]. Este modelo permite uma avaliação de uma qualidade subjetiva de como seria avaliada pelo usuário, pois associa cada fator de degradação da qualidade de voz percebida a um valor chamado “fator de prejuízo”. Os fatores de prejuízo são processados pelo E-Model, que fornece resultado uma avaliação R entre 0 e 100. O valor de R pode ser mapeado em um valor MOS, ou em valores percentuais bom ou melhor, e ruim ou pior usando-se tabelas. Um valor R igual a 50 é muito ruim, e um valor R igual a 90 é muito bom. Conforme mostrado na figura 5.6, onde os valores de R e MOS estão relacionados, e mostra o nível de satisfação dos usuários.

O cálculo de um fator R inicia, considerando uma situação de transmissão perfeita para a chamada VoIP. Nessa situação perfeita, a chamada VoIP não sofre nenhum tipo de degradação, seja pela rede e/ou dispositivos. A equação nesse caso seria: $R = R_0 = 100$. Entretanto, a rede e os equipamentos degradam a chamada VoIP, reduzindo sua qualidade enquanto é transmitida de fim-a-fim. Então a equação seria: $R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$, onde:

- Is é a soma de todas as degradações que podem ocorrer simultaneamente (ou quase) com a transmissão de voz. Os fatores de degradação específicos que compõem o Is são: a taxa de ruído enviada e recebida; a reprodução de sons captados pelo próprio telefone; e a distorção gerada pela quantização no processo de digitalização da voz.
- Id é o atraso fim-a-fim introduzido (o atraso em um sentido, atraso adicionado pelo *buffer* de variação de atraso, etc...);
- Ie é a degradação introduzida pelo equipamento, incluindo a porcentagem de perda de pacotes, a sua perda em blocos e a perda devido a estouro de *buffer* de variação de atraso;
- A é o fator de vantagem. Por exemplo, usuários de telefonia celular estão dispostos a aceitar uma qualidade menor devido à conveniência da mobilidade. Seu valor é 0 para a maioria das avaliações.

R	Satisfação do Usuário	MOS
100	Muito Satisfeito	4,4
90	Satisfeito	4,3
80	Alguns Usuários Insatisfeitos	4,0
70	Muitos Usuários Insatisfeitos	3,5
60	Quase Todos os Usuários Insatisfeitos	3,1
50	Não Recomendado	2,5
00		1,0

Figura 5.6 – Medida de Qualidade da Chamada Telefônica

A degradação inerente que ocorre quando da conversão do sinal analógico (voz) para um sinal digital e vice-versa, reduz o valor máximo teórico possível de R (sem degradação) para 93,2, e, dessa forma, o valor máximo possível para o MOS é 4,4 [Walker 2002]. Portanto, o fator R varia de 0 a 93,2 mapeado para um MOS que varia de 1,0 para 4,4.

5.8 Fatores que influenciam na qualidade da VoIP

As aplicações de voz sobre IP possuem muitos requisitos de rede que definem a sua qualidade. Estes requisitos de rede precisam ser definidos e controlados de acordo com a qualidade requerida. Os parâmetros de rede que influenciam [Hersent 2002] na degradação da voz são banda, atraso, variação de atraso e taxa de perdas de pacotes.

5.8.1 Banda

Banda é a taxa de bits por segundo necessária para transmissão dos pacotes de voz. A taxa de transmissão depende do CODEC utilizado pelo sistema. A tabela 5.1 mostra a taxa de transmissão dos tipos de CODEC mais utilizados. Dependendo da banda disponível e da qualidade requerida deve-se escolher o CODEC mais adequado para a aplicação. Algumas ferramentas podem diminuir a taxa de transmissão como os supressores de silêncio, que utilizam as características das aplicações de voz, onde de 40 a 50% não existe a necessidade na transmissão de pacotes IP, pois são períodos de silêncio, não sendo necessária a transmissão dos pacotes durante estes períodos. Uma outra ferramenta para diminuir a taxa de transmissão é a utilização de compressão de cabeçalhos IP, UDP e RDP, que possibilita uma taxa de compressão de até 95%, diminuindo consideravelmente a taxa de transmissão.

5.8.2 Atraso

O atraso está relacionado ao tempo que os pacotes de voz levam para percorrer todo o trajeto entre os dois pontos remotos. O atraso provoca dois efeitos que degradam a qualidade de uma conversação telefônica, que são:

- Eco: é a reflexão da própria voz dificultando a inteligibilidade, pois pode misturar áudio dos interlocutores;
- Dificuldade de interatividade: com o aumento do atraso, cada usuário do sistema percebe a dificuldade na conversação, pois o tempo em que tem uma pausa na fala, e espera o outro usuário falar, se torna muito alto, dificultando cada vez mais a comunicação com o aumento do atraso.

O atraso pode ser provocado por 5 fatores:

- Atraso de propagação do sinal: distância física entre dois pontos, que depende do meio de transmissão;
- Atraso de codificação e decodificação: é o tempo que os CODECs levam para converter os sinais de analógicos para digitais e vice-versa;

- Atraso de empacotamento: é o atraso referente ao encapsulamento das amostras dos sinais de voz dentro da pilha TCP/IP
- Atraso nos nós da rede: é o atraso provocado pelos equipamentos por onde passam os pacotes de voz, por exemplo: roteadores, switches, hubs,...
- Atraso devido a memória de atraso(jitter): este atraso é provocado para corrigir a variação de tempo na chegada dos pacotes de voz, para possibilitar a entrega de um sinal contínuo ao CODEC.

Na tabela 5.3 está definida a qualidade do enlace em relação ao atraso, definida pelo ITU-T na recomendação G.114.

Tabela 5.3 Qualidade Percebida x Atraso

Qualidade	Atraso (ms)
Melhor	0 - 150
Alto	150 - 250
Médio	250 - 350
Baixo	350 - 450
Inaceitável	450 - mais

5.8.3 Variação de atraso

A variação de atraso é o intervalo de tempo entre a chegada dos pacotes de voz, que em redes IP este tempo é variável. Para corrigir esta variação entre a chegada destes pacotes, são utilizadas memórias de atraso, porém quando a rede provoca variações muito grandes, os pacotes são descartados, provocando degradação na qualidade de voz. Os limites de variação dependem da especificação e programação das memórias de atraso, isto é, quanto menor este tempo maior a probabilidade em perdas de pacotes, e menor o tempo de atraso total do sistema.

5.8.4 Perda de pacotes

A perda de pacotes é provocada por três fatores: taxa de erros nas transmissões, congestionamento dentro da rede e variação elevada do tempo de atraso. Estes fatores causam perda da qualidade do sinal original da voz, pois o codec não consegue reproduzir o sinal original devido à perda da amostra original.

- Taxa de erros: são provocados por problemas normalmente nos sistemas de transmissão de redes de longa distância, sendo que os frames com erros são descartados, não havendo recuperação destas informações;
- Congestionamento: quando existe congestionamento dentro de uma rede, ou por problemas de processamento ou capacidade de transmissão em links de saída que não suportam a quantidade de informações a serem transmitidas, alguns pacotes podem ser descartados, provocando a perda de pacotes;
- Variação elevada: quando os pacotes sofrem uma grande variação durante a sua trajetória dentro da rede, neste caso da voz, como é um fluxo contínuo, estes pacotes são descartados, pois o tempo reservado para sua transmissão excedeu.

5.9 Categorias de Qualidade [Tiphon, 1999]

O Projeto Tiphon [Thiphon, 1999] definiu 4 categorias de qualidade de serviço para voz, conforme apresentado na tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Classes de qualidade de serviço fim-a-fim [Tiphon, 1999]

Classes de Qualidade de Serviço Fim-a-fim	4 (Melhor)	3 (Alto)	2 (Médio)	1 (Baixo)
Qualidade da Fala (unidirecional, medição não interativa)	Melhor ou igual a PSTN (G.711)	Igual a PSTN mas com atraso maior (melhor que G.726 a 32 kbit/s)	Igual a telefonia móvel sem fio (igual ou melhor que GSM-FR)	Não há garantias (menor que GSM-FR)
Atraso Fim-a-fim	< 150 ms	< 250 ms	< 350 ms	< 450 ms
Tempo de Estabelecimento da Chamada (endereçamento IP direto)	< 1,5 s	< 4s	< 7s	< 7s
Local de Implementação	Redes IP com QoS e ambientes LAN	Redes IP com QoS quando se busca otimizar a largura de banda	Redes IP não congestionadas	Internet Pública
Satisfação do Usuário ITU-T	Muito Satisfeito	Satisfeito	Alguns Usuário Insatisfeitos	Muitos Usuários Insatisfeitos

A qualidade “melhor” pode ser considerada como a melhor qualidade de voz percebida pelo cliente que o provedor pode oferecer, pois aloca recursos em sua

infraestrutura de rede de forma a permitir este nível de serviço que é o melhor que a rede fornece.

A percepção da qualidade “alta” pelos usuários é satisfatória para grande maioria dos usuários do sistema, para a qualidade “média” a percepção da voz para alguns usuários é insatisfatória. Com a qualidade baixa a percepção da voz para muitos usuários é insatisfatória. Estes níveis de qualidade estão relacionados diretamente com o preço pago para o provedor, quanto mais recursos disponíveis, mais caro se torna o serviço.

Por definição, as categorias da qualidade de serviço ETSI devem seguir os valores conforme a tabela 5.5.

Tabela 5.5- Parâmetros das categorias de qualidade

Categorias de Qualidade	Atraso fim a fim	Média das perdas de pacotes	Varição do atraso	Satisfação do Usuário
Melhor	< 150 ms	00%	0 ms	Muito Satisfeito
Alto	< 250 ms	03%	75 ms	Satisfeito
Médio	< 350 ms	15%	125 ms	Alguns Usuários Insatisfeitos
Baixo	< 450 ms	25%	225 ms	Muitos Usuários Insatisfeitos

Capítulo 6. Definição de um SLA para VoIP e implementação numa rede DiffServ/MPLS

Um SLA é definido como um contrato entre o provedor de serviço e o cliente, que especifica o nível de qualidade de serviço onde o provedor se compromete em fornecer ao seu cliente. Para o provedor de serviços e principalmente para os clientes do provedor, o SLA é a ferramenta onde estão definidos os direitos e obrigações de ambas as partes. Dentro do SLA para VoIP estão descritas as necessidades do cliente que o provedor deve fornecer para atender a qualidade para o tráfego de voz dentro da rede, como: garantia da taxa de bits, baixo tempo atraso, variação limitada do atraso e pequena taxa de descarte de pacotes, pois estes são os principais fatores que precisam de controle dentro de uma rede IP.

Esta dissertação tem por objetivo propor um SLA para VoIP e o seu mapeamento em uma rede IP com DiffServ/MPLS. Dentro do SLA para VoIP, deve ser definido qual a qualidade da voz percebida pelo cliente e que a provedora deve manter. No SLA deve existir a possibilidade de escolha pelo cliente da qualidade da voz, quantidade de conexões simultâneas e períodos em que necessitará do serviço de voz. Para manter a qualidade de voz percebida, a provedora de serviço deve garantir que certos parâmetros de desempenho de rede precisam ser garantidos, para isto, ela precisa programar seus sistemas de modo que forneçam a qualidade solicitada.

A especificação da qualidade da voz precisa ser mapeada em parâmetros de desempenho de rede, a fim de que seja possível controlar a qualidade de serviço que a rede deverá prover de modo a manter a qualidade de voz contratada pelo cliente. Diferentes soluções de QoS têm diferentes parâmetros de desempenho que podem ser controlados, outros parâmetros requerem a realização da engenharia de tráfego. O contexto deste trabalho está situado em uma rede DiffServ/MPLS. Os mecanismos que normalmente permitem a aplicação de QoS são: definição do tamanho de filas, algoritmos de leitura das filas e engenharia de tráfego.

Desta forma, além da definição do SLA em termos de parâmetros de qualidade de voz, este trabalho também propõe um procedimento para mapeamento destes parâmetros subjetivos em parâmetros de configuração de rede que devam ser aplicados dentro de um domínio DiffServ/MPLS.

Neste trabalho executaremos alguns experimentos, usando um domínio DiffServ/MPLS real, visando testar a proposta e comprovar se a arquitetura DiffServ/MPLS oferece recursos para garantir os níveis de qualidade de voz definidos em um SLA. Neste experimento iremos gerar tráfego sintético de voz em conjunto com outros tipos de tráfego entre estes pontos, fazendo medições para avaliar se os resultados estão de acordo com os requisitos solicitados.

6.1 Visão Geral da Proposta

Um SLA para VoIP tem por objetivo fornecer ao provedor e ao cliente, durante as negociações do contrato entre as partes, os principais itens que devem fazer parte deste contrato, permitindo maior garantia e confiabilidade tanto para provedor, quanto para o cliente após fechamento do contrato. As especificações dos itens do SLA permitem que o cliente tenha conhecimento do serviço que está adquirindo, e a infraestrutura necessária para o provedor disponibilizar o serviço de acordo com o contrato.

Na figura 6.1 apresenta as etapas a serem realizadas para a especificação dos parâmetros de QoS para VoIP até a configuração da estrutura de rede para a manutenção da QoS. Estas etapas são:

- Especificação do Nível da Aplicação: onde o cliente define com o provedor de serviço a especificação da qualidade de voz percebida que o cliente pretende obter.
- Especificação dos requisitos de rede – Nível de Rede: De acordo com a qualidade de voz definida pelo cliente, o provedor necessita traduzi-los em termos de parâmetros de configuração de rede, que permitam propiciar a qualidade desejada relacionada à banda, atraso, variação de atraso e perda de pacotes.

- Mapeamento dos parâmetros de configuração de rede. Após o provedor ter ciência dos requisitos de rede, este precisa traduzir em parâmetros de configuração, como por exemplo: tamanho de fila, algoritmos de fila, definição da política de roteamento, e assim por diante.
- Configuração da rede. Após definição dos parâmetros de rede necessários para atender a qualidade de voz percebida, o provedor irá configurar os equipamentos de que fazem parte da infraestrutura de rede. Para cada equipamento os comandos(scripts) para programação são específicos de cada fabricante.



Figura 6.1 – Etapas para especificação do SLA VoIP até a configuração da estrutura de rede

Esta proposta de SLA permite que o usuário da rede solicite os serviços para o provedor de acordo com a sua demanda, isto é, o usuário solicita níveis de serviço diferentes em períodos e dias distintos.

6.2 SLA VOIP

Como visto anteriormente, um SLA para VoIP deve ser especificado usando parâmetros de qualidade percebida de voz que o sistema deve oferecer, devendo este facilitar a escolha pelo usuário, não necessitando de grandes conhecimentos técnicos para

fazer esta solicitação. A especificação apenas usando parâmetros de desempenho de rede pode ser inadequada para o cliente de uma provedora. Tomando com base esta premissa, este trabalho propõe um formato de SLA para VoIP onde são especificados os parâmetro de qualidade de voz em termos da voz percebida pelos usuários.

Como em geral os parâmetros de qualidade que podem ser monitorados pelo cliente e pela provedora de serviços são os parâmetros de desempenho de redes, na realidade o SLA deve ser composto de duas partes, os parâmetros de QoS em termos de qualidade de voz percebida, e os parâmetros de rede que devem ser garantidos para obter a qualidade desejada. Esta última parte é na realidade derivada da primeira, cujo procedimento é proposto neste trabalho.

Conforme [Bouras, 2005] a especificação do SLA inclui duas partes:

- Parte administrativo-legal: esta relacionada principalmente as partes que envolvem as garantias e obrigações de cada parte (cliente e provedor), preço, tempo de contrato, como será a interface entre as partes e descrição do contrato.
- Parte de SLS: esta é a parte onde serão definidos os requisitos de nível de serviço, para permitir que o provedor planeje, projete, configure e opere seus sistema de modo a fornecer os níveis de serviço definidos em contrato. Esta parte que abordaremos com mais detalhes nesta proposta.

Utilizaremos como referência o formato de SLA definido em [Bouras, 2005], que estenderemos a parte administrativa que trata da descrição do serviço, e estamos propondo neste trabalho a parte referente à especificação do nível de serviço, o SLS, voltada a VoIP, sendo esta completamente nova.

6.3 Parte Administrativa/Legal – Nível da aplicação

A parte administrativa do SLA deve incluir os itens que definem os procedimentos e estrutura para provisionamento de serviços. Segundo [Bouras 2005], os itens que compõem esta parte do SLA são os seguintes:

- Partes administrativas e técnicas envolvidas: esta seção deve conter o contato de ao menos uma pessoa representando a área técnica e administrativa de ambas às partes (provedor e cliente).

- Tempo de duração: esta seção deve conter o período em que o SLA é válido. Este período pode ser diferente do período definido dentro do item “período de programação do serviço”, que faz parte do SLS. Este período é o tempo de duração total do contrato. O “Período de Programação do Serviço” está dentro do “Tempo de Duração” do contrato.
- Garantia de disponibilidade: esta seção deve definir os cálculos de disponibilidade do serviço, e como este é calculado. O serviço é considerado indisponível se não for atendido os parâmetros previamente contratados, e que normalmente é considerado mensal ou anual. A disponibilidade da rede poderá ser calculada conforme a fórmula abaixo:

$$\left[1 - \frac{\sum (\text{tempo_de_indisponibilidade_do_ACESSO_em_horas})}{(24\text{hr} \times \text{dias_do_mes} \times \text{número_de_ACESSO})} \right] \times 100$$

- Monitoração: esta seção deve especificar como e quando (constantemente ou periodicamente) o SLA é monitorado.
- Tempo de resposta: nesta seção estão definidos os tempos de resposta das solicitações de ajustes do SLA a pedido do cliente, pois pode haver a necessidade de ajustes na configuração da rede do provedor. O tempo de resposta do provedor normalmente aceito no mercado é de 30 dias, sendo um tempo suficiente para o provedor avaliar e responder ao cliente da possibilidade ou não do atendimento, e os custos para execução se necessário.
- Bilhete de defeito: nesta seção deve especificar as ações que o provedor deve executar quando falhas relativas à entrega do serviço definida no SLS ocorrem, e quais são os tempos de solução. Bilhete de defeito é documento onde o provedor registra as informações de defeito/falha para controle e acompanhamento pelo cliente, e também para que o provedor utilize no acionamento do seu processo interno de recuperação de falhas.
- Qualidade e desempenho do suporte e helpdesk: esta seção deve especificar toda infraestrutura de suporte do serviço contratado. O provedor deve informar

qual é o número de acesso ao seu cliente para solicitação de reparo e suporte técnico, sendo normalmente sem custo da ligação para o cliente.

- Preços do contrato de serviço: preço do serviço fornecido é uma parte muito crítica de um SLA entre o cliente e o provedor da rede de serviços, onde estão os valores cobrados pelo serviço do provedor.
- Descrição do Serviço: Uma descrição do serviço fornecido, descrevendo qualitativamente as características (por exemplo: serviço com melhor, alta, média e baixa qualidade de voz) e como será a operação do serviço entregue como será a instalação e a manutenção do serviço, por exemplo. A escolha das características do serviço é pré-agendada com o provedor quando da assinatura do contrato. Porém deve ser flexível, onde o usuário pode solicitar a qualquer momento, desde que definindo previamente no SLA, alterações dos perfis de tráfego, solicitando ao provedor alteração do perfil original. Como exemplo pode-se considerar uma alteração do perfil devido a um aumento na demanda de comunicação entre duas unidades.

Na nossa proposta, a Descrição de Serviço tem o formato apresentado na tabela 6.1. Através desta tabela, o cliente poderá especificar as suas necessidades de conexões de voz entre vários pontos (localidades, filiais, parceiros, clientes,...), qualidade das ligações, tipo de codec, e a utilização ou de VAD.

Tabela 6.1: Descrição do Serviço

Origem		Destino				Qualidade das chamadas	CODEC				Utilização de VAD	Classe de Terminal VoIP				
Localização	Identificação do fluxo de VoIP	Localização	Dias semana	Hora início	Hora fim		Melhor	Alta	Média	Baixa		G.711	G.729	G.723.1a	Outros	A

Os diversos parâmetros especificados nesta parte são apresentados na seqüência.

Origem e Destino

Estes parâmetros estão relacionados aos locais de onde serão originadas e recebidas as chamadas telefônicas via VoIP. Na tabela, o termo **Localização** está relacionado à posição geográfica do cliente, que é o local físico da rede onde o cliente está conectado a rede do provedor. Na origem deve ser feita a **Identificação do fluxo de VoIP**, que está relacionado ao fluxo de voz que deve ser tratado de modo diferenciado pelo provedor, e que pode ser identificado através do Endereço de host e/ou rede, e/ou portas UDP, e/ou interface física, e/ou marcação DSCP.

Dias da Semana e Horários

Estes campos definem os períodos em que se deve garantir a qualidade de voz especificada no campo “Qualidade das Chamadas”, sendo:

- **Dias Semana:** são os dias da semana na qual o cliente irá solicitar a qualidade da voz ao provedor. Os dias podem ser considerados como úteis, sábados, domingos e feriados, ou dias específicos da semana.
- **Hora início e Hora fim:** hora do início e fim da programação dos níveis de serviço solicitados.

Quantidade de Chamadas

É o número de chamadas simultâneas que o cliente solicita, e que serve para o provedor reservar recursos em sua infraestrutura de rede. Esta quantidade está relacionada ao número simultâneo de ligações que podem ocorrer entre dois locais da rede.

Qualidade das Chamadas

É a qualidade em que o usuário irá escolher para as ligações telefônicas. Quanto melhor a qualidade, maiores são os recursos que o provedor deve reservar. Para especificar a qualidade de voz, esta proposta adota as classes de qualidade de serviço fim-a-fim definidas no projeto Tiphon [Tiphon, 1999] e apresentadas na tabela 5.4.

Codec

São os codificadores de voz utilizados pelos equipamentos terminais de telefonia que o cliente irá utilizar para transformar o sinal de voz analógico em sinais digitais, e

empacota-los para trafegar sobre a rede IP. Esta proposta considera que o codec definido no SLA será aquele usado nas ligações. Caso na prática seja utilizado outro codec (configurado pelo usuário ou negociado diretamente pelas aplicações), a qualidade possivelmente não será atendida (principalmente caso o codec gere uma taxa de bits maior que o codec especificado no SLA).

VAD (Voice Activity Detection)

São os recursos utilizados para otimizar a banda para cada fluxo, pois reduz significativamente a banda necessária para transporte dos pacotes de voz dentro da rede. O usuário do sistema pode optar em usar ou não este mecanismo. Devido às características da conversação entre 2 indivíduos, pode ser considerado como utilização média de 50% da taxa gerada pelo codec no pior caso quando é utilizado VAD.

Classe de Terminal VoIP

Nesta parte o cliente deve definir a classe mínima de terminal VoIP a ser instalado na empresa. Esta proposta adota as três classes de terminais definidas pelo projeto Tiphon [Tiphon, 1999]. Cada classe de terminal foi especificada para ser usada com classes de QoS como mostra a tabela 6.3, abaixo.

Tabela 6.3 – Classes de terminais Tiphon [Tiphon, 1999].

Classe de Terminal	Aplicação	Atraso de Host	Especificado para as Classes de QoS
A	Atraso de quadro de voz pequeno e poucos quadros de voz por pacote IP	10-20ms	Melhor e Alta
B	Atraso grande de quadro de voz e/ou poucos quadros de voz por pacote IP	40-60ms	Alta e Média
C	Atraso grande de quadro de voz e múltiplos quadros de voz por pacote IP	60-100ms	Média e Baixa

As classes de terminais Tiphon podem ser usadas para definir que tipos de dispositivos (com muito ou pouco atraso de quadro de voz) podem ser usados em uma rede. Com as características da rede em que será implementada a VoIP, é possível determinar qual classe de terminal melhor se adequa a essa rede.

Um terminal A não é necessariamente melhor que um terminal C, porque são projetados para diferentes situações de rede. Um terminal A pode, por exemplo, ter uma

qualidade da fala percebida muito baixa em uma rede com QoS Média, enquanto um terminal C pode ter uma qualidade boa nessa mesma classe. Essas classes de terminais podem servir de referência para que fabricantes decidam qual terminal desenvolver [Tiphon, 1999]. Um equipamento pode implementar mais de uma classe de terminal. É possível também que esses equipamentos trabalhem com uma classe de QoS melhor do que para a qual foram projetados. Por exemplo, um terminal classe C pode trabalhar com uma rede com QoS Alta.

6.4 Especificação do Nível de Serviço (SLS)

O SLS (*Service Level Specification*) é a parte do SLA onde estão definidas as características da infra-estrutura de rede, que no contexto deste trabalho deve ser configurada para atender as necessidades de qualidade da voz percebida pelo cliente.

Nesta proposta, a especificação dos níveis de serviço é obtida automaticamente da Descrição do Serviço do nível aplicação do SLA. Ela é descrita na forma de duas tabelas: Especificação da qualidade de serviço; e Especificação do Percentual de Banda.

6.4.1 Especificação da Qualidade de Serviço

A Qualidade de Serviço é especificada na forma da tabela 6.4.

Tabela 6.4 - Especificação dos requisitos de rede

Escopo	Dias semana	Hora início	Hora fim	Descritor de Fluxo	Tratamento de excesso	Atraso(ms)	Varição de atraso(ms)	Perda de pacotes(%)	Banda(Kbps)

Escopo

Após o cliente definir qual é a origem e destino dos fluxos, relacionando os endereços físicos, por exemplo, localidade, bairro, rua, numero, etc..., na tabela 6.1, que conseqüentemente é traduzido para tabela 6.4, campo “Escopo”, o provedor verifica dentro

de sua infraestrutura de rede, qual equipamento irá se conectar com o cliente. Normalmente o provedor possui um mapa onde define a região de abrangência de cada ponto de acesso a sua rede, que podemos chamar de ponto de presença do provedor. Este ponto usualmente está relacionado à posição física de conexão como por exemplo: nome do equipamento, gabinete, posição da placa, porta, etc...

Dias da Semana, Hora de Início e Fim

O sistema de gerência do provedor irá coletar os registros dos períodos (dia da semana, hora início e hora fim) definidos pelo cliente, e mapear estas programações na rede de acordo com estes períodos, coletados da tabela 6.1, campos “Dias Semana”, “Hora Inicia” e “Hora Fim”. Para implementar esta função, o provedor irá necessitar de um sistema de gerência do nível de serviço para iniciar e finalizar as programações na rede automaticamente ou manualmente, obedecendo estes intervalos de tempos, programando a rede para atender os requisitos de rede daquele período.

Descritor do fluxo

Os valores deste campo são coletados diretamente do campo “Identificação do fluxo de VoIP” da tabela 6.1.

Garantia de desempenho: Atraso, Variação de Atraso, Taxa de Perdas

A garantia de desempenho descreve as garantias que a rede deve oferecer ao cliente para que os pacotes marcados pelo descritor de fluxo dentro dos limites da rede do provedor tenham tratamento de acordo com a qualidade de voz definida pelo cliente. Os parâmetros de desempenho de acordo com o IETF IP Performance Metrics Working Group, [Roth, 2003], são os seguintes: Atraso num sentido, Variação de atraso instantâneo de pacotes, Perda de pacotes num sentido e Capacidade (banda)

Como visto anteriormente, esta proposta adota as categorias de qualidade definidas pelo projeto Tiphon e apresentadas na tabela 5.4, é especificada pelo cliente na coluna Qualidade de Chamadas da Descrição dos Serviços.

Através da qualidade de chamada exigida pelo cliente e pelo tipo de terminal VoIP a ser considerado, pode-se definir os limites do atraso, taxa de perdas de pacotes e variação de atraso. Estes limites são especificados na tabela 6.5, de acordo com o tipo de terminal a ser considerado. Note que esta tabela considera a comunicação entre dois terminais VoIP,

ou seja, dois equipamentos terminais VoIP conectados em uma rede IP. Os demais cenários, comunicação de um terminal VoIP se comunicando com um telefone PSTN ou dois telefones PSTN se comunicando via uma rede IP têm requisitos menores.

Tabela 6.5- Parâmetros das categorias de qualidade

Classes de Terminais	Parâmetro de Rede	Qualidade de Voz			
		Melhor	Alto	Médio	Baixo
A (10-20ms)	Atraso (ms)	110	210	310	410
	Perdas de Pacotes	0%	<3%	<15%	<25%
	Jitter G.729(ms)	40	40	40	40
B (40- 60ms)	Atraso (ms)	Não aplicável	130	230	330
	Perdas de Pacotes		<3%	<15%	<25%
	Jitter G.729 (ms)		40	40	40
C (60 – 100ms)	Atraso (ms)	Não aplicável	Não aplicável	150	250
	Perdas de Pacotes			<15%	<25%
	Jitter G.729 (ms)			40	40

Na tabela 6.5, os valores de tempo apresentados nas classes de terminais são os limites de atraso da classe de terminal. Por exemplo, na classe de terminal A, o atraso no host é de 10 a 20ms. Este atraso de host deve ser reduzido do atraso fim-a-fim limite das classes de qualidade (tabela 5.4). Então supondo que o usuário escolheu a qualidade Melhor, o atraso fim-a-fim a nível de rede deve ser 150ms menos o atraso ocorrido nos dois terminais (40ms), ou seja, 110ms.

Quanto ao jitter, este trabalho considerou o tempo máximo como tamanho limite de tempo de 2 pacotes de voz, que para o codec G.729 é de 2x20ms, e para G.723.1a é de 2x30ms, conforme Tabela 5.1. Outros valores devem ser investigados, pois outras referências adotam outros limites de jitter. Por exemplo, a Cisco recomenda um valor ideal de jitter de 40 ms e o máximo de 70ms [Cisco, 2004]

Vazão

A vazão é a taxa de bits que o provedor vai programar de acordo com as informações definidas pelo usuário. Para a definição da vazão necessária, é necessário

considerar o número de chamadas, o tipo de codec usado, a utilização ou não de VAD, e a máxima taxa média de perda de pacotes.

Alguns trabalhos modelam o tráfego gerado pela VoIP como sendo on-off, como ilustrado na figura 6.2, onde a taxa gerada é simplificada considerada com um valor m Kbps durante os períodos de silêncio e de M Kbps durante as falas. Isto caso seja habilitada à supressão de silêncio (VAD). Usaremos aqui também a noção de índice de atividade “a”, definida simplificada como a relação $(T_{ativo})/soma(T_{inativo}+T_{ativo})$ [Hersent, 2002]. Um bom valor médio geralmente é 0,35, mas para maior garantia, neste dimensionamento de rede, será utilizado $a=0,5$. Para fluxos onde não é utilizado VAD, utiliza-se o mesmo cálculo com índice de atividade igual a um(1), sendo que fluxo se comporta como CBR(Constant Bit Rate).

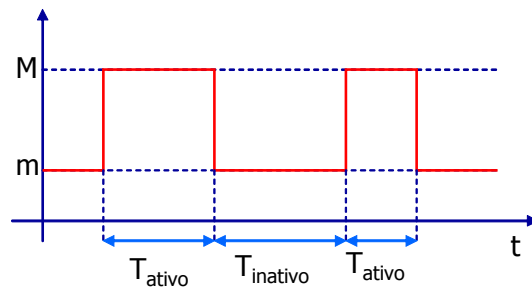


Figura 6.2 Tráfego de voz modelado como on-off

Caso VAD seja habilitada, a taxa de bits durante o período de silêncio, “ m ”, depende do codec usado e de algumas opções de uso e implementação. Nos codecs mais antigos, a taxa de bits é nula. Em codecs mais modernos, é mantida uma taxa de bits para encaminhar um “Descritor de Inserção de Silêncio” ou “Ruído de Conforto” para especificar parâmetros para gerar um ruído artificial durante o período de silêncio próximo ao ruído de fundo na fonte. A tabela 6.6 apresenta alguns valores de “ m ” e “ M ” para os codecs mais populares.

Tabela 6.6: Taxa de bits dos codecs mais populares

CODEC	Tamanho do pacote de voz	M (Kbps)	m (Kbps)
G.723.1(5,3Kbps)	30ms	16,00	3,73
G.723.1(6,4Kbps)	30ms	17,07	3,73
G.729	20ms	24,00	
G.728	20ms	32,00	
G.726	20ms	55,20	
G.711	20ms	80,00	

Quando houver N conversações simultâneas não correlacionadas em uma mesma conexão, elas normalmente não estarão todas simultaneamente ativas. Por isso, a largura de banda exigida será menor que $N \cdot M$. Segundo [Hersent, 2002], quando o valor de N se torna muito grande, é intuitivamente óbvio que a largura de banda exigida será N vezes a taxa de transmissão de bits média de uma conversação: $N \cdot (aM + (1-a)m)$. Por exemplo, para 30 chamadas, considerando o codec G.723.1, onde $M=16,00$ kbps, $m=3,73$ kbps e $a = 0,5$, a banda necessária seria de $30 \cdot (0,5 \cdot 16 + (1-0,5) \cdot 3,73) = 295,95$ kbps.

A equação acima permite determinar a largura de banda quando da definição de um número de chamadas e de um fator de utilização “a”. Mas deve-se considerar também a taxa de perdas toleráveis. Esta taxa de perdas deve ser considerada para o cálculo da largura de banda ótima. Em [Hersent, 2002] é apresentado um detalhamento deste aspecto. Vamos considerar nesta proposta que para fluxos menores de 30 chamadas, utilizaremos o valor de pico das chamadas, porém o valor máximo calculado não deve ultrapassar a taxa média de 30 chamadas simultâneas para aquele codec. Por exemplo, no caso de um fluxo de 25 chamadas com o codec G.723.1a, teremos o seguinte:

- Banda máxima a ser configurada para 30 conexões: $30 \cdot (0,5 \cdot 16 + (1-0,5) \cdot 3,73) = 295,95$ kbps
- Banda calculada para 25 chamadas: $25 \cdot 16 = 400$ kbps
- Banda a ser configurada para 25 chamadas: 295,95 kbps, sendo a banda máxima para fluxos abaixo de 30 chamadas.

Os cálculos apresentados não consideram o uso de cRTP que podem reduzir a largura de banda usada pela VoIP.

Tratamento do excesso

Este atributo especifica como é tratado o excesso de tráfego ou tráfego fora do perfil acordado. Quando ocorre o excesso de tráfego pode ocorrer o seguinte com os pacotes em excesso:

- Descarte: de acordo com as negociações com o cliente os pacotes que ultrapassaram a banda contratada serão descartados, isto é, o provedor monitora o volume de tráfego gerado pelo cliente, e caso ultrapasse o valor definido este descarta os pacotes acima do perfil de tráfego pré-configurado.

- Remarcação em uma outra classe de serviço: caso o cliente defina que os pacotes que estão acima da banda contratada devem ser remarcados, o provedor pode inserir este excesso em outra classe de serviço, e negociar valores com o cliente o pagamento ou não desta funcionalidade.
- Ignorar o excesso e transmite: o provedor pode registrar o excesso de tráfego contratado. Os dados de tráfego fora do perfil normalmente são enviados ao sistema de tarifação do provedor, para cobrar do cliente os valores referentes à transmissão dos pacotes de voz fora do perfil escolhido pelo cliente. Previamente pode existir uma negociação comercial com cliente dos valores referentes a este excesso, sendo mais uma oportunidade de negócio para o provedor, e para o cliente uma garantia que o desempenho de sua aplicação não será afetada.

6.4.2 Percentual de banda utilizada

O provedor deve informar como os recursos estão sendo utilizados pelo cliente. A tabela 6.7 é um modelo que facilita o cliente saber como estão os recursos por ele contratados. As informações desta tabela são geradas de acordo com as informações inseridas pelo cliente na tabela 6.1.

Tabela 6.7: Utilização dos recursos de VoIP

Escopo(local)	Velocidade do acesso em Kbps	Dias semana	Hora início	Hora fim	Percentual de banda utilizada

A tabela 6.7 é gerada a partir das informações que o cliente insere na tabela 6.1(Descrição do Serviço), associada aos cálculos executados pelo provedor na Especificação dos requisitos de rede, tabela 6.3, informando quais os recursos de rede o cliente está utilizando. Estas informações servem para dar ao cliente uma visão dos serviços por ele contratados, facilitando o seu planejamento, a para o provedor pró-ativamente, em

casos de alta utilização dos recursos, informar ao cliente que este necessita de ampliação da sua infra-estrutura contratada.

6.5 Configuração da Rede DiffServ/MPLS

A configuração da rede DiffServ/MPLS para garantir o SLA trata-se da configuração do roteador de borda das origens do tráfego de VoIP. Deve ser executada a configuração dos roteadores que ficam localizados fisicamente no ambiente do cliente chamados de CPE (Customer Premises Equipment), e dos roteador de borda da rede chamado PE (Provider Edge) ou LSR (Label Switch Router). Estes roteadores devem ser configurados de tal forma a garantir a qualidade de serviço especificada no SLS.

A seguir são apresentados os diversos aspectos de configuração da rede.

Identificação dos Equipamentos

O primeiro passo para a configuração da rede para garantir o SLA contratado por um cliente é identificar os roteadores de borda envolvidos na programação (CPE e PE), ou seja, o(s) ponto(s) de sua rede onde cliente será conectado, de acordo com a informação coletada do campo “Escopo”. Os campos de identificação de cada equipamento incluem: nome do equipamento, bastidor, placa, porta, tipo de interface, taxa de bits.

Período(s) de programação

Eles são os períodos referentes aos campos “Dias da Semana, Hora de Início e Fim”, em que será iniciado e finalizado o processo de programação do serviço. Estas programações podem ser executadas de forma manual ou automática. Na prática estas programações normalmente são executadas manualmente.

Mapeamento do Descritor de Fluxo

Os roteadores de borda devem classificar os pacotes levando em consideração o campo “Descritor de fluxo” da tabela 6.4. Eles devem executar as regras para marcar os fluxos de VoIP, para definição dos campos DSCP e EXP, de acordo com a qualidade de serviço que irá fornecer a estes fluxos.

Na tabela 6.7, mostra um exemplo de regra para mapeamento de acordo com a percepção da qualidade de voz escolhida pelo cliente, que poderia ser implementado pelo provedor.

Tabela 6.7: Exemplo de mapeamento da qualidade de voz para modelo DiffServ e MPLS.

Qualidade da voz	Mapeamento do campo DSCP do DiffServ	Mapeamento do campo EXP do MPLS
Melhor	101110(EF)	101
Alta	011010(AF31)	011
Media	010010(AF21)	010
Baixa	000000(BE)	000

Após o provedor marcar os fluxos dentro do modelo DiffServ e MPLS, este precisa mapear os fluxos de modo a atender os requisitos de rede especificados no SLS. O provedor deve levar em conta a necessidade de implementar engenharia de tráfego em conjunto com outros mecanismos. Alguns parâmetros, como tempo de atraso, dependendo da topologia de sua rede, podem ser controlados pelo provedor apenas aplicando em conjunto com estes mecanismos a engenharia de tráfego, que resumidamente defini o melhor caminho para atender este requisito. Na seqüência serão analisados mecanismos para garantias de atraso, jitter, taxa de bits, e tratamento do excesso.

Atraso

O provedor deve executar principalmente duas tarefas para configurar a sua rede no atendimento dos valores de atraso:

- Associar os tempos de atraso com os caminhos (topologia de rede) entre os pontos A e B onde serão configurados os fluxos de voz. Os fluxos definidos com tempo de atraso menor devem seguir caminhos menores dentro da rede. Estaremos desconsiderando problemas de congestionamento e entroncamentos com diferentes velocidades, pois consideramos esta uma função do planejamento e projeto de rede que deve dimensionar a rede para possibilitar o atendimento dos requisitos de rede. Para definição destes caminhos o provedor necessita que seu sistema de gerência de rede conheça todos os caminhos, permitindo fornecer estas informações ao sistema de configuração, que vai designar o melhor caminho ao fluxo, de acordo com os requisitos referentes ao atraso.

- Definir o algoritmo de escrita e leitura do enfileiramento do fluxo de pacotes nos links de saída dos roteadores. Nos fluxos com menor tempo de atraso, devem ser utilizados algoritmos que priorizam a escrita e leitura para transmissão destes fluxos, em relação aos fluxos de menor prioridade, onde o tempo de atraso pode ser maior. Normalmente para os fluxos com menor tempo de atraso, é utilizado o método Priority Queue, para outros fluxos com tempos de atraso maiores pode ser utilizado o modelo CBWFQ (Class-Based Weighted Fair Queuing).

Varição de atraso (Jitter)

O jitter está relacionado diretamente com os algoritmos de enfileiramento descrito para o atraso, pois a escolha deste algoritmo irá influenciar diretamente no atraso e variação de atraso. O método Priority Queue é o que fornece menor variação de atraso.

Taxa de transmissão

A taxa de transmissão está associada à reserva de banda nos enlaces de saída de cada equipamento que compõe a rede, que é definida no campo “Banda (Kbps)” da tabela 6.4. Em cada interface da rede onde está conectado o cliente, devem ser reservados recursos de banda relacionados à Especificação dos Requisitos de Rede a tabela 6.3. Esta reserva é executada na borda da rede, pois dentro do backbone do provedor as programações devem ter sido executadas previamente, de acordo com o projeto de rede. As programações podem ser em percentuais em relação à banda disponível no acesso, ou em bps (bits por segundo).

Tratamento do Excesso

As regras para tratar o excesso de tráfego de cada fluxo, são traduzidas pelo provedor do campo Tratamento de Excesso da tabela 6.3. O provedor utiliza as seguintes regras para executar as configurações de acordo com a entrada dos comandos em cada equipamento(roteador) da rede:

Descartar:

- se (fluxo de voz gerado pelo cliente \leq definido no contrato) = transmite todos os pacotes do fluxo,
- se (fluxo de voz gerado pelo cliente $>$ definido no contrato) = descarta pacotes em excesso, e transmite pacotes dentro do perfil;

Remarcar:

- se (fluxo de voz gerado pelo cliente \leq definido no contrato) = transmite todos os pacotes do fluxo sem remarcação;
- se (fluxo de voz gerado pelo cliente $>$ definido no contrato) = remarca pacotes fora do perfil de acordo com a nova marcação definida no contrato, e transmite pacotes dentro do perfil com a mesma marcação;

Ignorar e registrar:

- se (fluxo de voz gerado pelo cliente \leq definido no contrato) = transmite todos os pacotes do fluxo sem registro;
- se (fluxo de voz gerado pelo cliente $>$ definido no contrato) = transmite os pacotes sem remarcação, porem registra o volume de tráfego acima do contrato, permitindo que através do sistema de gerência de rede, estas informações sejam coletadas, e enviadas ao sistema de tarifação do provedor, para cobrar do cliente os valores referentes aos pacotes(tráfego) fora do perfil.

Propomos na tabela 6.8, um modelo para facilitar a configuração do roteador, utilizando as informações definidas nesta seção.

Tabela 6.8: Resumo mapeamento parâmetros de configuração

Parâmetros de configuração para VoIP	O que configurar	Exemplo
Equipamento	Informar nome do equipamento, posição, tipo de interface, velocidade, meio de acesso, etc	Nome: FNS 14 Bastidor: 3A Placa: 5 Porta: 2 Tipo de interface: V.35 Velocidade: 2 Mbps Protocolo: PPP
Período(s) de programação	Dia da semana, horário de início e fim da programação	Segunda-Feira das 08:00 até 18:00hs
Mapeamento do Descritor de Fluxo	Mapear o fluxo de VoIP ==> DSCP ==>EXP	IP (UDP porta 16384 até 32000) ==> DSCP 101110 ==> EXP 101
Atraso	Configurar método de enfileiramento, e tamanho da fila Avaliar topologia de rede, qualidade melhor < caminho	Método enfileiramento Priority Queue
Variação de atraso(Jitter)	Configurar método de enfileiramento, e tamanho da fila	
Taxa de transmissão	Reservar banda no link de acesso a rede	Bandwidth 200Kbps
Tratamento do excesso (Política de descarte)	Configurar descarte ou remarcação ou apenas registrar o excesso	police cir 256000 bc 8000 conform-action transmit exceed-action drop

6.6 Estudo de Caso – Cliente Virtual S.A.

A fim de ilustrar a proposta, esta seção apresenta um estudo de caso onde será definido um SLA VoIP para uma empresa fictícia chamada de Cliente Virtual S.A., composta de uma matriz e duas filiais. Simularemos a entrada dos dados na Tabela 6.1: Descrição do Serviço, onde estas entradas serão traduzidas na Tabela 6.3 - Especificação dos requisitos de rede, e finalmente faremos o mapeamento dos parâmetros de configuração.

Consideraremos que a empresa necessita utilizar serviços de VoIP para a comunicação entre a matriz, em Florianópolis, com duas filias, uma em São Paulo e outra em Curitiba, conforme ilustrado na figura 6.3. Os equipamentos de voz utilizarão as seguintes faixas de endereços dentro da rede:

- Matriz Florianópolis: SubRede:10.10.2.1 até 10.10.2.30
- Filial São Paulo: SubRede: 10.10.3.1 até 10.10.3.30
- Filial Curitiba: SubRede: 10.10.4.1 até 10.10.4.30

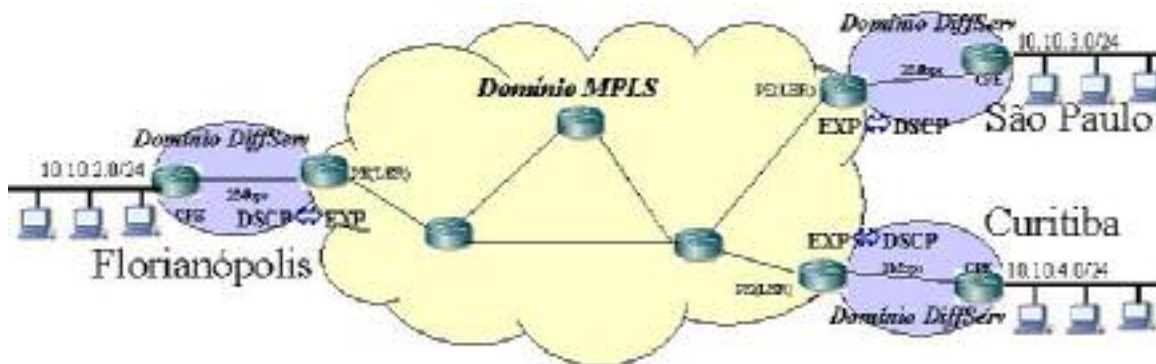


FIGURA 6.3: TOPOLOGIA DA REDE EMPRESA VIRTUAL S.A.

A Descrição do Serviço para a empresa Virtual S.A. é apresentado na tabela 6.9. Esta tabela deve ser preenchida pelo cliente.

Tabela 6.9: Descrição de Serviço da Empresa Virtual

Origem		Destino	Dias semana	Hora início	Hora fim	Quantidade de chamadas simultâneas	Qualidade das ligações telefônicas				CODEC				Utilização de VAD	Classe de Terminal VoIP		
Localização	Identificação do fluxo de VoIP	Localização					Melhor	Alta	Média	Baixa	G.711	G.729	G.723.1a	Outros		A	B	C
Florianópolis	SubRede 10.10.2.0/27 p/ SubRede 10.10.3.0/27	São Paulo	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	20:00	30	x						x		x			
Florianópolis	SubRede 10.10.2.0/27 p/ SubRede 10.10.4.0/27	Curitiba	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	20	x						x		x			
Curitiba	SubRede 10.10.4.0/27 p/ SubRede 10.10.3.0/27	São Paulo	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	10		x							x			
Florianópolis	SubRede 10.10.2.0/27 p/ SubRede 10.10.3.0/27	São Paulo	Sab	08:00	14:00	10		x					x		x			
Florianópolis	SubRede 10.10.2.0/27 p/ SubRede 10.10.4.0/27	Curitiba	Sab	08:00	14:00	5		x							x			
Curitiba	SubRede 10.10.4.0/27 p/ SubRede 10.10.3.0/27	São Paulo	Sab	08:00	14:00	5			x						x			

Após preenchimento pelo cliente das suas necessidades, o provedor irá gerar a especificação da Qualidade de Serviço (parte do SLS), que é apresentado na tabela 6.10

Tabela 6.10: Especificação da Qualidade de Serviço da Empresa Virtual S.A.

Escopo	Dias semana	Hora início	Hora fim	Descriptor de Fluxo	Tratamento de excesso	Atraso(ms)	Variação de atraso(ms)	Perda de pacotes(%)	Banda(Kbps)

Florianópolis Roteador 1 porta Serial0 V.35(PPP) 2Mbps	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	20:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27	Descarte	<110	<40	0	258
	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<110	<40	0	258
	Sab	08:00	14:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27	Descarte	<210	<40	3	172
	Sab	08:00	14:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<210	<40	3	86
	Dom	09:00	17:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27	Descarte	<310	<40	15	86
São Paulo Roteador 2 porta Serial1 V.35(PPP) 2Mbps	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	20:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27	Descarte	<110	<40	0	258
	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	Origem/Destino 10.10.3.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<210	<40	3	172
	Sab	08:00	14:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27	Descarte	<210	<40	3	172
	Sab	08:00	14:00	Origem/Destino 10.10.3.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<310	<40	15	86
	Dom	09:00	17:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27	Descarte	<310	<40	15	86
Curitiba Roteador 3 porta Serial1 V.35(PPP) 1Mbps	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<110	<40	0	258
	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	Origem/Destino 10.10.3.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<210	<40	3	172
	Sab	08:00	14:00	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<210	<40	3	86
	Sab	08:00	14:00	Origem/Destino 10.10.3.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27	Descarte	<350	<40	15	86

Na tabela 6.11 estão as informações sobre a ocupação dos acessos com VoIP, em relação a velocidade da conexão entre cliente e provedor.

Tabela 6.11: Ocupação de VoIP por localidade

Escopo(local)	Velocidade do acesso em Kbps	Dias semana	Hora início	Hora fim	Percentual de banda utilizada
Florianópolis Roteador 1 porta Serial0 V.35(PPP) 2Mbps	2Mbps	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	25%
		Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	18:00	20:00	13%

		Sab	08:00	14:00	13%
		Dom	09:00	17:00	4%
São Paulo Roteador 2 porta Serial1 V.35(PPP) 2Mbps	2Mbps	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	21%
		Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	18:00	20:00	13%
		Sab	08:00	14:00	13%
		Dom	09:00	17:00	4%
Curitiba Roteador 3 porta Serial1 V.35(PPP) 1Mbps	1Mbps	Seg, Ter, Qua, Qui e Sex	08:00	18:00	42%
					17%
		Sab	08:00	14:00	

O próximo passo é coletar as informações dos requisitos de rede, e mapeá-los em parâmetros de configuração do roteador no cliente Virtual S.A., que é resumido na tabela 6.12, e do roteador do backbone do provedor tabela 6.13.

Tabela 6.12: Parâmetros de configuração roteador no cliente Virtual S.A.

Localidade Florianópolis - Cliente Virtual S.A. Programação roteador CPE no cliente					
Período	Dias úteis Início: 08:00 Término: 18:00hs	Dias úteis Início: 18:00 Término: 20:00hs	Sabado Início: 08:00 Término: 14:00hs	Sabado Início: 08:00 Término: 14:00hs	Domingo Início: 09:00 Término: 17:00hs
Mapeamento do Descritor de Fluxo	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27, marcar p/ DCSP=>101110(EF)	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27, marcar p/ DCSP=>101110(EF)	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27, mapear p/ DCSP=>011010(AF31)	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27, mapear p/ DCSP=>011010(AF31)	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.3.0/27, mapear p/ DCSP=>010010(AF21)
	Origem/Destino 10.10.2.0/27 para Origem/Destino 10.10.4.0/27, marcar p/ DCSP=>101110(EF)				
Atraso	Metodo enfileiramento Priority Queue	Método enfileiramento Priority Queue	Metodo enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing	Metodo enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing	Metodo enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing
Varição de atraso(Jitter)					
Taxa de transmissão	Bandwidth 516Kbps	Bandwidth 258Kbps	Bandwidth 172Kbps	Bandwidth 86Kbps	Bandwidth 86Kbps
Tratamento do excesso (Política de descarte)	se taxa > 516Kbps, descarta excesso	se taxa > 258Kbps, descarta excesso	se taxa > 172Kbps, descarta excesso	se taxa > 86Kbps, descarta excesso	se taxa > 86Kbps, descarta excesso
Equipamento	Nome:FLO-Virtual Porta: S0 Interface: V.35 Veloc.: 2 Mbps Protoc. N2: PPP				

Tabela 6.13: Parâmetros de configuração do roteador do backbone do provedor

Localidade Florianópolis - Cliente Virtual S.AA. Programação roteador PE(LER)					
Período	Dias úteis Início: 08:00 Término: 18:00hs	Dias úteis Início: 18:00 Término: 20:00hs	Sabado Início: 08:00 Término: 14:00hs	Sabado Início: 08:00 Término: 14:00hs	Domingo Início: 09:00 Término: 17:00hs
Mapeamento do Descritor de Fluxo	Marcar DCSP=101110(EF) p/ EXP 101	Marcar DCSP=101110(EF) p/ EXP 101	Marcar DCSP=011010(EF) p/ EXP 011	Marcar DCSP=011010(AF31) p/ EXP 011	Marcar DCSP=010010(AF21) p/ EXP 010
Atraso	Método enfileiramento Priority Queue	Método enfileiramento Priority Queue	Método enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing	Método enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing	Método enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing
Variação de atraso(Jitter)					
Taxa de transmissão	Bandwidth 516Kbps	Bandwidth 258Kbps	Bandwidth 172Kbps	Bandwidth 86Kbps	Bandwidth 86Kbps
Tratamento do excesso (Política de descarte)	se taxa > 516Kbps, descarta excesso	se taxa > 258Kbps, descarta excesso	se taxa > 172Kbps, descarta excesso	se taxa > 86Kbps, descarta excesso	se taxa > 86Kbps, descarta excesso
Equipamento	Nome:Backbone FLO22 Bastidor: 3A Placa: 3 Porta: 0 Interface: G.703 Veloc.: 2 Mbps Protoc. N2: PPP				

Como ilustração iremos mostrar a configuração do ponto de acesso à rede em Florianópolis, utilizando a programação em dias úteis, das 08:00hs até as 18:00hs. Na tabela 6.14, está a configuração do roteador CPE com nome “FLO-Virtual”, e na figura 6.17 do roteador PE(LER) com nome “FLO22”, ambos de Florianópolis. As configurações mostradas são apenas das linhas de comando que atendem os requisitos definidos nas tabela 6.12 e 6.13, e que se referem às programações deste exemplo, excetuando-se o restante das configurações necessárias a programação normal de um roteador.

Tabela 6.14: Exemplo de configuração CPE Florianópolis

Comando Roteador	Descrição
hostname FLO-Virtual	Definido o nome do Equipamento como: FLO-Virtual
class-map match-all Melhor_VOZ	Seleciona os pacotes que estão dentro da lista de acesso Melhor_ACL_VOZ
match access-group name Melhor_ACL_VOZ!	Definida a lista de acesso Melhor_ACL_VOZ para ser classificada
policy-map OUT	Regra de policiamento definida como OUT
class Melhor_VOZ	Seleciona os pacotes classificados dentro do class-map Melhor_VOZ
priority 516	Define o método de enfileiramento Priority Queue, limitando a banda em 516Kbps
set ip dscp ef	Marca os pacotes com DSCP EF
police cir 516000 bc 8000 conform-action transmit exceed-action drop	Tratamento do excesso, o trafego acima do limite 516Kbps será descartado(drop)

class class-default	Seleciona todos os pacotes que não entrarão na classificação
set ip dscp default	Marca os pacotes com DSCP BE como padrão
Interface FastEthernet0	Interface LAN
ip address 10.10.2.254 255.255.255.0	Endereço da rede local
service-policy output OUT	Aplicação da regra de policiamento nesta interface FastEthernet0
interface Serial0	Interface WAN
bandwidth 2048	Velocidade interface
ip address 10.48.0.6 255.255.255.252	Endereço IP de WAN
encapsulation ppp	Protocolo de nível 2
service-policy output OUT	Aplicação da regra de policiamento nesta interface Serial 0
ip access-list extended Melhor_ACL_VOZ	Lista de acessos Melhor_ACL_VOZ, que escolhe os pacotes dentro das regras abaixo
permit IP any 10.10.2.0 0.0.0.31 10.10.3.0 0.0.0.31	Faixa de pacotes a entrarem na regra de classificação (origem faixa 10.10.2.0 a 10.10.2.31, para destino faixa 10.10.3.0 a 10.10.3.31) - Descritor do fluxo
permit IP any 10.10.2.0 0.0.0.31 10.10.4.0 0.0.0.31	Faixa de pacotes a entrarem na regra de classificação (origem faixa 10.10.2.0 a 10.10.2.31, para destino faixa 10.10.4.0 a 10.10.4.31) - Descritor do fluxo
permit IP any 10.10.3.0 0.0.0.31 10.10.2.0 0.0.0.31	Faixa de pacotes a entrarem na regra de classificação (origem faixa 10.10.3.0 a 10.10.3.31, para destino faixa 10.10.2.0 a 10.10.2.31) - Descritor do fluxo
permit IP any 10.10.4.0 0.0.0.31 10.10.2.0 0.0.0.31	Faixa de pacotes a entrarem na regra de classificação (origem faixa 10.10.4.0 a 10.10.4.31, para destino faixa 10.10.2.0 a 10.10.2.31) - Descritor do fluxo

Tabela 6.15: Exemplo de configuração PE(LER) Backbone Florianópolis

Comando Roteador	Descrição
hostname FLO22	Definido o nome do Equipamento como: FLO22
class-map match-all VOZ_CE	Classifica os pacotes de voz com o nome "VOZ_CE", que será aplicado na saída para o cliente
match ip dscp 46	Classificação dos pacotes selecionados marcando com campo DSCP 101110 (DiffServ)
class-map match-all Voz	Classifica os pacotes de voz com o nome "Voz", que será aplicado na saída para o backbone
match mpls experimental 5	Classificação dos pacotes selecionados(DSCP=EF) marcando com campo EXP 101 (MPLS)
Policy-map MPLS-QoS	Aplica as regras do policiamento para dentro do backbone, que defini com o nome MPLS-QoS
class Voz	Seleciona classe "Voz"
priority	Define o método de enfileiramento Priority Queue
Policy-map VOZ-VirtualSA	Aplica as regras do policiamento para a interface com o cliente, definido com o nome Saida_VirtualSA
class VOZ_CE	Seleciona classe "VOZ_CE"
priority 256	Define o método de enfileiramento Priority Queue, com limite de taxa 256Kbps

<pre> police cir 256000 bc 56000 be 48000 conform-action transmit exceed-action drop </pre>	Tratamento do excesso, o trafego acima do limite 256Kbps será descartado(drop)
<pre> class class-default </pre>	Seleciona todos os pacotes que não entrarão na classificação, e marca como DSCP 000000(BE)
<pre> interface ATM0/0/0.474 point-to-point </pre>	Interface ATM com o resto do backbone
<pre> bandwidth 155000 </pre>	Taxa de transmissão da interface com o backbone
<pre> service-policy output MPLS-QoS </pre>	Aplica as regras do policiamento para a interface com o backbone, que neste caso aplica o método Priority Queue para EXP = 101
<pre> interface Serial11/0/6:0 </pre>	Interface de saída com o cliente VirtualSA
<pre> service-policy output VOZ-VirtualSA </pre>	Aplica as regras do policiamento para a interface com o cliente, que neste caso aplica o método Priority Queue para EXP = 101

6.7 Testes de Qualidade de Voz oferecida por uma rede DiffServ/MPLS

A fim de avaliar a qualidade de voz oferecida por uma rede real DiffServ/MPLS, executamos testes em um ambiente real, onde foram disponibilizados dois acessos a rede DiffServ/MPLS de um grande provedor de soluções de conectividade.

Nestes testes os pacotes de voz serão transportados por uma rede IP, utilizando o modelo DiffServ e MPLS, sendo os pacotes de voz marcados ou remarcados nos roteadores de borda da rede, de acordo com a classe de voz designada para cada fluxo. Assim sendo os pacotes receberão tratamento adequado dentro da rede para permitir a transmissão de VoIP dentro dos requisitos de qualidade de serviço selecionados. No interior da rede os fluxos de pacotes de voz são mapeados dentro do campo EXP do MPLS, e tratados de modo a atender estes requisitos de rede.

6.7.1 Ambiente de Testes

A figura 6.2 apresenta o ambiente de testes utilizado. Ele é formado por dois roteadores Cisco 1751, chamado de roteador CPE (Customer Premises Equipment) instalados fisicamente em Florianópolis, porém um conectado via SDH em link de 2Mbps ao backbone na cidade de Joinville, simulando um ponto remoto da extensão da rede de um cliente, e outro equipamento conectado na mesma localidade Florianópolis. Estes

equipamentos são responsáveis pela classificação, marcação, monitoração e policiamento dos pacotes dentro do modelo DiffServ, que faz a conexão a rede LAN onde está o equipamento que irá gerar e medir o tráfego de teste, com o backbone (WAN) do provedor. Na conexão com o provedor, serão conectados aos roteadores Cisco 7513, chamados de PE (Provider Edge) ou LER (Label Edge Router).

Os roteadores CPE são responsáveis pela classificação e marcação dos pacotes dentro do domínio DiffServ. Os roteadores PE são os responsáveis pela integração do domínio DiffServ com o domínio MPLS.

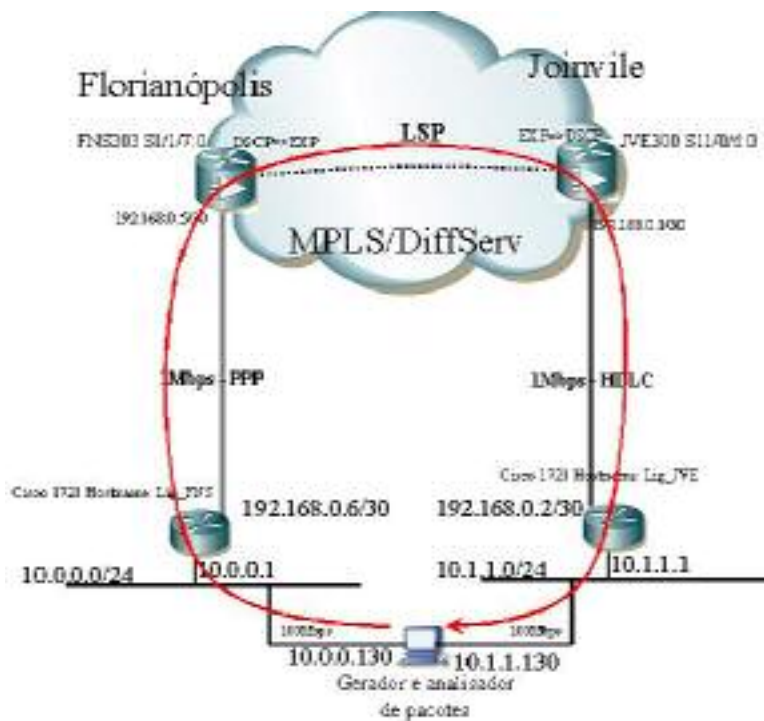


Figura 6.4: Ambiente de testes

6.7.2 Descrição do Serviço

Neste testes, consideraremos um contrato de provimento de serviço de voz para 8 chamadas entre Florianópolis e Joinville, conforme descrição de serviço apresentado na tabela 6.16. Note que duas chamadas devem ser de qualidade melhor, duas de qualidade alta, duas de qualidade média e duas de qualidade baixa. O objetivo desta distribuição é avaliar se a rede DiffServ/MPLS proposta permite diferenciar o tráfego desta forma. Para a identificação do fluxo foi utilizado o campo DSCP do cabeçalho IP.

Tabela 6.16: Descrição de Serviço

Origem		Destino				Quantidade de chamadas simultâneas	Qualidade das chamadas				CODEC			Utilização de VAD	Classe de Terminal VoIP		
Localização	Identificação do fluxo de VoIP	Localização	Dias semana	Hora início	Hora fim		Melhor	Alta	Média	Baixa	G.711	G.729	G.723.1a		Outros	A	B
Florianópolis	DSCP EF	Joinvile	Sex	17:00	23:00	2	x				x			Não	x		
	DSCP AF31		Sex	17:00	23:00	2		x			x			Não	x		
	DSCP AF21		Sex	17:00	23:00	2			x		x			Não	x		
	DSCP BE		Sex	17:00	23:00	2				x	x			Não	x		

6.7.3 Especificação da QoS

Os requisitos de rede foram traduzidos de acordo com as informações tabela 6.16, gerando a especificação de QoS apresentada na tabela 6.17.

Tabela 6.17: Especificação da QoS

	Escopo	Dias semana	Hora início	Hora fim	Descritor de Fluxo	Tratamento de excesso	Atraso(ms)	Variação de atraso(ms)	Perda de pacotes(%)	Banda(Kbps)	
											Lig_FNS
Lig_JVE	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=EF	Descarte	<110	<40	0	165	
	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=AF31	Descarte	<210	<40	3	165	
	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=AF21	Descarte	<310	<40	15	165	
	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=BE	Descarte	<410	<40	25	165	
	Lig_JVE	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=EF	Descarte	<110	<40	0	165
	Lig_JVE	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=AF31	Descarte	<210	<40	3	165
	Lig_JVE	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=AF21	Descarte	<310	<40	15	165
	Lig_JVE	Lig_FNS	Sexta	17:00	23:00	Origem DSCP=BE	Descarte	<410	<40	25	165

6.7.4 Configuração de Rede

Na tabela 6.18 estão os parâmetros de configuração do roteador no cliente, necessários ao atendimento dos requisitos de rede. Estas informações servem para os dois roteadores de Florianópolis e Joinville, a única alteração seria a localização de cada um.

Tabela 6.18: Parâmetros de configuração dos roteadores de teste no lado cliente.

Localidade Florianópolis - Ambiente de teste				
Período	Sexta-Feira Início:17:00 Término: 23:00hs	Sexta-Feira Início:17:00 Término: 23:00hs	Sexta-Feira Início:17:00 Término: 23:00hs	Sexta-Feira Início:17:00 Término: 23:00hs
Mapeamento do Descritor de Fluxo	Origem DSCP EF Marca com DSCP EF	Origem DSCP AF31 Marca com DSCP AF31	Origem DSCP AF21 Marca com DSCP AF21	Origem "qualquer" Marca com DSCP BE
Atraso	Metodo enfileiramento Priority Queue	Metodo enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing	Metodo enfileiramento Class-Based Weighted Fair Queueing	FiFO
Varição de atraso(Jitter)				
Taxa de transmissão	Bandwidth 256Kbps	Bandwidth 256Kbps	Bandwidth 256Kbps	Bandwidth 256Kbps
Tratamento do excesso (Política de descarte)	se taxa > 256Kbps, descarta excesso	se taxa > 256Kbps, descarta excesso	se taxa > 256Kbps, descarta excesso	Ignorar o excesso e transmite
Equipamento	Nome:Lig_FNS Porta:S0 Interface:V.35 Veloc.:1Mbps Protoc. N2: PPP			

Para os roteadores do provedor as programações relativas aos requisitos destes testes estão na tabela 6.19.

Tabela 6.19: Parâmetros de configuração dos roteadores do backbone do provedor.

Localidade Florianópolis - Roteador PE do Provedor				
Período	Sexta-Feira Início:17:00hs Término: 23:00hs	Sexta-Feira Início:17:00hs Término: 23:00hs	Sexta-Feira Início:17:00hs Término: 23:00hs	Sexta-Feira Início:17:00hs Término: 23:00hs
Mapeamento do Descritor de Fluxo	Origem DSCP EF Marca com EXP 101	Origem DSCP AF31 Marca com EXP 011	Origem DSCP AF21 Marca com EXP 010	Origem DSCP BE Marca com EXP 000

	Origem EXP 101 Marca com DSCP EF	Origem EXP 011 Marca com DSCP AF31	Origem EXP 010 Marca com DSCP AF21	Origem EXP 000 Marca com DSCP BE
Atraso	Metodo enfileiramento	Metodo enfileiramento	Metodo enfileiramento	
Varição de atraso(Jitter)	Priority Queue	Class-Based Weighted Fair Queueing	Class-Based Weighted Fair Queueing	FIFO
Taxa de transmissão				
Saída para a interface do cliente	Bandwidth 256Kbps	Bandwidth 256Kbps	Bandwidth 256Kbps	Bandwidth 256Kbps
Tratamento do excesso (Política de descarte) Para a interface de saída para o cliente	se taxa > 256Kbps, descarta excesso	se taxa > 256Kbps, descarta excesso	se taxa > 256Kbps, descarta excesso	Ignorar o excesso e transmite
Equipamento	Nome:BackboneFNS303 Bastidor:3A Placa:1 Porta:1/7:0 Interface:G.703 Veloc.:2Mbps Protoc. N2: PPP			

Configuração dos roteadores no lado do cliente está listada na tabela 6.20.

Tabela 6.20: Configuração do roteador de Florianópolis no cliente

Configuração	Significado
class-map match-all VOZ-EF	Classifica pacotes com DSCP=EF
match ip dscp 46	
class-map match-all VOZ-AF31	Classifica pacotes com DSCP=AF31
match ip dscp 26	
class-map match-all VOZ-AF21	Classifica pacotes com DSCP=AF21
match ip dscp 18	
policy-map OUT	
class VOZ-EF	Seleciona classe voz com EF
priority 256	Utiliza método priority queue, e limita banda em 256Kbps
set ip dscp 46	Marca com dscp 46(continua)
police cir 256000 bc 8000 conform-action transmit exceed-action drop	Descarta pacotes fora do perfil de 256Kbps
class VOZ-AF21	Seleciona classe voz com AF21
bandwidth 256	Utiliza método CBWFQ com limite de banda em 256Kbps
queue-limit 5	Seleciona o tamanho da fila
set ip dscp 18	Marca com dscp AF21(continua)
class VOZ-AF31	Seleciona classe voz com AF31
bandwidth 256	Utiliza método CBWFQ com limite de banda em 256Kbps
queue-limit 5	Seleciona o tamanho da fila
set ip dscp 26	Marca com dscp AF31(continua)

class class-default	Seleciona classe default (todos os outros pacotes)
set ip dscp 0	Marca todos outros com DSCP=BE
interface FastEthernet0	
ip address 10.0.0.1 255.255.255.0	
load-interval 30	
service-policy output OUT	Ativação do serviço de classificação, marcação e policiamento nesta interface FastEthernet
interface Serial0	
bandwidth 1024	
ip address 192.168.0.6 255.255.255.0	
encapsulation ppp	Encapsulamento de nível 2=PPP
load-interval 30	
service-policy output OUT	Ativação do serviço de classificação, marcação e policiamento nesta interface serial

Configuração dos roteadores no lado do backbone, listada na tabela 6.21.

Tabela 6.21: Configuração do roteador de Florianópolis no backbone

Comando	Descrição
class-map match-all EXPRESS_CE	Classifica pacotes com DSCP=AF21
match ip dscp 18	
class-map match-all MIDIA_CE	Classifica pacotes com DSCP=AF31
match ip dscp 26	
class-map match-all VOZ_CE	Classifica pacotes com DSCP=EF
match ip dscp 46	
class-map match-all Multimidia	Classifica pacotes com EXP 011
match mpls experimental 3	
class-map match-all Expresso	Classifica pacotes com EXP 010
match mpls experimental 2	
class-map match-all Voz	Classifica pacotes com EXP 101
match mpls experimental 5	
policy-map MPLS-QoS	Cria regra para aplicação em uma interface, nesta caso para dentro do backbone
class Voz	Seleciona classe chamada voz com EXP 101
Priority	Define método Priority Queue
class Multimídia	Seleciona classe chamada multimídia com EXP 011
bandwidth percent 20	Defini CBWFQ com 20% de banda reservada do link conectado ao backbone
class Expresso	Seleciona classe chamada expresso com EXP 010
bandwidth percent 20	Defini CBWFQ com 20% de banda reservada do link conectado ao backbone
class class-default	Seleciona classe chamada expresso com EXP 010
policy-map Teste UFSC	Cria regra para aplicação em uma interface, neste caso com o cliente
class MIDIA_CE	Seleciona a regra MIDIA_CE onde estão os pacotes com DSCP-AF31
bandwidth 256	Defini o método CBWFQ, e limita a banda em 256 para este fluxo

queue-limit 5	Tamanho da fila 5
class EXPRESS_CE	Seleciona a regra EXPRESS_CE onde estão os pacotes com DSCP-AF21
bandwidth 256	Defini o método CBWFQ, e limita a banda em 256 para este fluxo
queue-limit 5	Tamanho da fila 5
class VOZ_CE	Seleciona a regra VOZ_CE onde estão os pacotes com DSCP-EF
priority 256	Define método Priority Queue, limita a banda em 256Kbps
police cir 256000 bc 25000 be 48000 conform-action transmit exceed-action drop	Defini a política de descarte, tráfego acima de 256Kbps são descartados(drop)
class class-default	Seleciona na regra class-default todos os outros pacotes que não entraram em nenhuma regra
queue-limit 6	Tamanho da fila 6
interface ATM0/0/0.474 point-to-point	Interface ATM com o backbone do provedor
service-policy output MPLS-QoS	Ativação do serviço de classificação, marcação e policiamento nesta interface ATM
interface Serial11/0/6:0	Interface conectada com o roteador de teste
service-policy output Teste UFSC	Ativação do serviço de classificação, marcação e policiamento nesta interface serial com o cliente

6.7.5 Medição e Geração do Tráfego VoIP

Para a medição dos parâmetros de desempenho e geração do tráfego VoIP simulado, foi escolhida a ferramenta RUDE & CRUDE [Laine, 2002]. O RUDE & CRUDE é uma ferramenta para geração e medição de tráfego em ambiente de alto desempenho. Essa ferramenta é constituída por dois processos: o RUDE (*Real-time UDP Data Emitter*) e o CRUDE (*Collector for RUDE*) os quais são o gerador e o coletor de dados, respectivamente.

A escolha do RUDE & CRUDE se deve a simplicidade e a flexibilidade dessa ferramenta associados a sua alta precisão para os testes. Outra vantagem também observada no RUDE & CRUDE é o armazenamento do tráfego de rede gerado sem decodificá-lo, de forma a não gerar carga de processamento na máquina receptora.

Foi executada a programação da ferramenta RUDE de modo que esta gerasse oito fluxos de voz simulada. Cada chamada de voz foi simulada através da geração de um UDP CBR, com 50 pacotes por segundo, com um tamanho de pacote IP de 200Bytes, durante um período de 60 segundos. Desta forma, simulando exatamente um tráfego de voz usando o codec G.711 sem supressão de silêncio.

Para diferenciação de tráfego, o Rude marcava o campo DSCP com valor dependendo da classe de serviço requerida.

6.7.6 Resultados da Medição da Qualidade

Os testes foram realizados em duas fases. Na primeira fase considerou-se o cenário de uma rede não sobrecarregada. Na segunda fase, considerou-se uma rede sobrecarregada, através de um tráfego de fundo de 1 Mbps do tipo BE.

A tabela 6.22 apresenta o atraso, jitter, taxa de perdas e vazão medidos nas duas fases. Note que a vazão apresentada é a nível da camada de transporte, sendo que 68800 bps no nível de transporte corresponde a 80kbps a nível de rede.

Tabela 6.22: Resultado dos testes

Fluxo	Fase	Medição				Qualidade de Voz Medido
		Atraso (ms)	Jitter (ms)	Perdas (%)	Vazão (bits)	
EF	1	8,61	0,21	0,07	68800	Melhor
AF21		11,93	0,26	0,07	68776	Melhor
AF31		15,25	0,29	0,07	68800	Melhor
BE		18,54	0,32	0,03	68800	Melhor
EF	2	24,59	9,07	0	68800	Melhor
AF21		29,52	6,50	0,03	68753	Melhor
AF31		32,50	9,44	0	68776	Melhor
BE		135,57	40,91	48,69	504542	Inaceitável

Analisando os resultados deste teste, pode-se observar que não foi possível efetivamente diferenciar a qualidade de voz percebida usando diferentes classes de serviço DiffServ, a exceção do tráfego BE em redes saturada. Todas as demais classes testadas ofereceram uma qualidade de voz Melhor. Neste teste a distância entre a fonte e destino de tráfego é de aproximadamente 400 km, havendo seis roteadores da fonte ao destino.

Diante dos resultados concluímos que a nossa proposta é válida para um ambiente real, possibilitando uma interface amigável com o usuário, sendo desnecessário a presença de um especialista da área, por parte do cliente, para fazer a solicitação dos requisitos do serviço ao provedor. A proposta permite ao usuário a escolha do serviço de telefonia sobre uma rede IP (VoIP), tendo o provedor um sistema de tradução destas necessidades, que entrega ao seu cliente os serviços na “medida” certa.

Capítulo 7. Conclusão

Para atender a grande demanda de aplicações que migram para a arquitetura TCP/IP, é necessário que os provedores ofereçam soluções que atendam os requisitos que estas aplicações necessitam. E mais que isso, é fornecer soluções com a qualidade requerida pelo cliente, somado à agilidade na entrega destes serviços, pois o mercado está cada vez mais competitivo, e quem se mantém neste mercado são as empresas que fornecem serviços com estas características.

Percebe-se ainda que soluções mais complexas como VoIP, apesar de não ser uma tecnologia recente, é de difícil implementação devido aos requisitos de rede necessários ao seu funcionamento, pois os usuários estão acostumados com a excelente qualidade da telefonia fixa, gerando um grande desafio aos gerentes de rede nesta migração

A presente proposta de trabalho vem ao encontro das necessidades de mercado em que os provedores de serviço precisam fornecer soluções diferenciadas, oferecendo condições do usuário da rede escolher os seus requisitos de qualidade de serviço, de maneira mais eficiente, rápida e objetiva, de acordo com as suas características e necessidades. Sendo assim mais competitivo no mercado, privilegiando as empresas que possuem capacidade em se adaptar constantemente as necessidades de seus clientes.

Nesta proposta definimos um modelo de SLA para VoIP, onde o cliente não precisa ser um especialista/técnico para solicitar ao provedor requisitos de rede tipo atraso, jitter, perda de pacotes, banda entre outros, pois o provedor disponibiliza um formulário na linguagem de usuário, onde o cliente irá solicitar que tipo de serviço este necessita para suas aplicações. Através destas informações o provedor consegue mapear em parâmetros de rede, gerando scripts de configuração, possibilitando a programação automática ou manual das necessidades de seu cliente.

Este trabalho foi baseado na configuração de redes utilizando o modelo DiffServ e MPLS, pois mostrou-se uma solução de fácil implementação, além de oferecer um excelente suporte as necessidades de garantia de QoS. Existe uma forte tendência de mercado na utilização destes modelos pelos grandes provedores, que possuem vários

produtos suportados por plataformas com DiffServ e MPLS, principalmente VPN em cima de redes IP.

Para permitir toda a integração entre solicitação, tradução em requisitos de rede, mapeamento em parâmetros de configuração e configuração da rede, o provedor deve projetar sua infraestrutura de rede de modo que os equipamentos tenham suas plataformas de gerência em arquiteturas padrão, facilitando a integração e a automatização de todo processo.

Este modelo proposto de atendimento do SLA para VoIP, e seu mapeamento seguindo os modelos DiffServ e MPLS, pode ser estendido para qualquer outra aplicação dentro de uma rede IP, possibilitando ao provedor ampliar seu portfólio de produtos.

Consideramos que este trabalho serve de referência para que os provedores possam implementar em suas redes, serviços customizados e online de acordo com as necessidades de cada cliente, tornando-se um diferencial dentro do mercado. Esta integração e facilidade em se relacionar com o cliente geram um aumento de receita dos provedores, atendendo e estimulando a utilização de aplicações de telefonia.

As aplicações de telefonia estão sendo integradas as redes de dados, provocando a integração de todos os serviços e aplicações em uma só rede, diminuindo os custos para provedor de serviços e seus clientes além da geração de novos negócios.

Capítulo 8. Referências

ANATEL, 2004. Resolução N° 30, DE 29 DE JUNHO DE 1998. http://www.anatel.gov.br/Tools/frame.asp?link=/biblioteca/resolucao/1998/res_030_1998.pdf Acessado em: 1 de Dezembro 2004.

Avaya Application Solutions. **IP Telephony Deployment Guide**. Disponível em <http://support.avaya.com/elmodocs2/comm_mgr/r2_1/pdfs/245600_3_1_1.pdf> Acesso em: 05 de Dezembro 2004.

BLAKE, S., et al. **An Architecture for Differentiated Services**. RFC 2475, Internet Engineering Task Force, Dezembro 1998.

BOURAS, CHRISTOS;; SEVASTI, AFRODITE **Service level agreements for Differentiated services' provisioning** Journal of Network and Computer Applications, 2005

BRADEN, R.; CLARK, D.; SHENKER, S. **Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview**. RFC 1633, Internet Engineering Task Force, Junho 1994.

BRASILTELECOM, 2005. Participações S.A. Divulgação de Resultado. Consolidado – 4º Trimestre de 2004. Fevereiro, 2005. Disponível em http://www.brasiltelecom.com.br/static/inst_ri_participacoes_br/file/BRP%20DR%204T04%20Portugues.pdf

EMBRATEL, 2005. Embratel Participações S.A. Divulgação de Resultado - Resultado do Quarto Trimestre de 2004. Janeiro, 2005. Disponível em <http://www.embratel.com.br/Embratel02/files/dc/01/15/4q04porfinal.pdf>

TELEFONICA, 2005. Resultados Trimestrais 2004 janeiro – dezembro. Disponível em <http://www.telefonica.es/accionistaseinversores/por/pdf/rdos04t4-por.pdf>

TELEMAR, 2005. Divulgação de resultados Financeiros 4º trimestre 2004. Disponível em http://www.telemar.com.br/ri/edite/EditeArquivo.asp?Nome=2_ARQUIVO_001&EditeCodigoDaPagina=657

- CISCO, CISCO Systems. **IP Communications/What Makes Voice Over IP Works**. <http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns339/ns392/ns399/ns404/networking_solutions_white_paper0900aec800dd975.shtml> Acesso em: 04 de Dezembro 2004.
- ETSI TR 101 329 V2.1.1 <<http://portal.etsi.org/tiphon/hta/VOIP/voip.asp>> Dezembro 1999.
- HERSENT, O., GUIDE, D., PETIT, J., **Telefonia IP – Comunicação Multimídia Baseada em Pacotes**. Addison Wesley. São Paulo 2002.
- JACOBSON, V., NICHOLS, K., PODURI, K. **An Expedited Forwarding PHB**. RFC 2598, Internet Engineering Task Force, Junho 1999.
- KAGKLIS, D, NICOLAS, L., TSAKIRIS, C., **A Framework for Implicit and Explicit Service Activation based on Service Level Specification**, ACM Symposium on Applied Computing, 2004.
- KILKKI, K. **Differentiated services for the Internet**. Macmillan Technology Series, 1999.
- HEINANEN, J. et al. **Assured Forwarding PHB Group**. RFC 2597, Internet Engineering Task Force, Junho 1999.
- LAINE, J., SAARISTO, S., AND PRIOR, R. (2002) “Rude & crude”, <http://rude.sourceforge.net>, Dezembro 2002
- MURHAMMER, M. W.; ATAKEN, O.; BRETZ, S.; PUGH, L. R.; SUZUKI, K.; WOOD, D. H. **TCP/IP Tutorial e Técnico**. Makron Books, 2000.
- NICHOLS, K. et al. **Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers**. RFC 2474, Internet Engineering Task Force, Dezembro 1998.
- OSBORNE, E.; SIMHA, A. **Engenharia de Tráfego com MPLS**. Campus, 2003.
- RETIERE, C. **Quality of Service – MPLS**. DESS Telecom 2002/2003. Equant, Novembro 2002.
- ROSEN, E., VISWANATHAN, A., FELDMAN, N. **Multiprotocol Label Switching Architecture**. RFC 3031, Internet Engineering Task Force, Janeiro 2001.
- SALSANO, S., et al. **Definition and usage of SLS in the AQUILA consortium**, draft-salsano-aquila-sls-00.txt, Internet Draft, Novembro 2000.

SOARES, LILIAN C.; FREIRE, VICTOR A, **Redes Convergentes**. Alta Books, 2002.

STURM, R.; MORRIS,W; JANDER, M. **Foundations of Service Level Management**. SAMS, 2000

WALKER,J. Q.; HICKS,J. T. **The Essential Guide to VoIP Implementation and Management**”, NeqIQ Corporation, <www.netiq.com>. Acessado em: Fevereiro 2005

.WILLRICH, R. Apostila do Curso **Sistemas Multimídia Distribuídos**. Universidade Federal de Santa Catarina. Agosto 2000.