

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO
DEPARTAMENTO DE COMUNICAÇÕES

OUTROS TRABALHOS EM:
www.projetoederedes.com.br

Estudo da Qualidade de Voz em Redes IP

Júlio César Magro
Engenheiro Elétrico – FEEC/UNICAMP

Prof. Dr. Hélio Waldman
Orientador

Banca Examinadora:
Prof. Dr. Maurício Ferreira Magalhães – DCA/FEEC/UNICAMP
Prof. Dr. Luís Geraldo Pedroso Meloni – DECOM/FEEC/UNICAMP
Pesq. Dr. Daniel Moutinho Pataca – Fundação CPqD

Dissertação de Mestrado apresentada à comissão
de pós-graduação da Faculdade de Engenharia
Elétrica e de Computação – FEEC/UNICAMP,
como requisito para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Julho de 2005

Campinas – SP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

M276e Magro, Júlio César
 Estudo da qualidade de voz em redes IP / Júlio César
 Magro. --Campinas, SP: [s.n.], 2005.

 Orientador: Hélio Waldman
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de
Computação.

 1. Codificador de voz. 2. Internet (Redes de computação).
3. Sistemas de telecomunicação. 4. Qualidade. 5. TCP/IP
(Protocolo de rede de computação). I. Waldman, Hélio. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Elétrica e de Computação. III. Título.

Título em Inglês: Study of voice quality in IP networks.

Palavras-chave em Inglês: Voice coder, Computer networks, Telecommunications
systems, Quality e TCP/IP (Computer networks protocol)

Área de concentração: Telecomunicações e Telemática

Titulação: Mestre em Engenharia Elétrica

Banca examinadora: Maurício Ferreira Magalhães, Luís Geraldo Pedroso Meloni e Daniel
Moutinho Patata

Data da defesa: 07/07/2005

Resumo

Este trabalho descreve o estudo da qualidade de voz em redes IP a partir de uma revisão dos protocolos e mecanismos relativos a qualidade de serviço (QoS) e os aspectos do impacto sistêmico na presença ou ausência destes; revisão dos diversos métodos de avaliação da qualidade da voz com ênfase nos métodos automáticos (objetivos e repetitivos) para auxiliar na análise dos efeitos na voz dos diversos fatores presentes em uma rede de pacotes, tais como perda de pacote, atraso e *jitter*, bem como a própria codificação da voz em baixas taxas; revisão dos principais protocolos de sinalização utilizados para implementação de voz sobre IP (VoIP) ou telefonia sobre IP, evidenciando-se seus pontos fortes e fracos com relação a facilidade de implementação, extensibilidade e adequabilidade para várias aplicações de rede e qualidade de serviço (QoS) e realização de testes em redes IP simulada e experimental.

O principal objetivo é a caracterização do serviço de voz em redes IP levando-se em consideração os efeitos dos fatores de rede e *gateway* no tempo de estabelecimento de uma chamada (conexão) e na qualidade da voz. Para simulação da rede IP foi utilizado o *software* Cloud da Shunra onde é possível tratar, de forma isolada, a influência da perda de pacote, do atraso fixo, do atraso variável (*jitter*), bem como do efeito conjunto da perda de pacote e *jitter*. Soluções a tais efeitos são investigadas em testes experimentais. Resultados de simulações sistêmicas são apresentados e discutidos. As degradações na voz devidas a tais efeitos são avaliadas e um método prático para solucionar é testado.

Os resultados experimentais demonstram a viabilidade técnica da utilização da voz sobre IP (ou telefonia IP) pelos provedores de serviço, bem como pelas corporações privadas, podendo trafegar voz e dados em uma mesma rede convergente IP.

Palavras-chave: Qualidade de serviço (QoS), Voz sobre IP (VoIP), Codificador de voz, Redes IP

Abstract

This work describes the study of voice quality in IP networks based on a revision of quality of service (QoS) protocols and mechanisms and aspects of the system impact associated with the presence or absence of them; revision of the diverse evaluation methods of voice quality with emphasis in the automatic methods (objective and repetitive) used to analyze the effects in the voice due to diverse factors presented in packet networks, such as packet loss, delay and jitter, as well as the proper voice coding at low rate; revision of the main protocols of signalling for implementation of voice over IP (VoIP) or IP telephony, considering its strong and weak points with regard to implementation facility, scalability and adequacy for some network applications and quality of service (QoS) and accomplishment of tests in simulated and experimental IP networks.

The main objective is the characterization of voice service in IP networks taking into account the effect of the network factors in call set-up (connection) and in voice quality. For the simulation of the IP network the Shunra's Cloud software was used where it is possible to deal with, in isolated form, the influence of packet loss, fixed delay, delay variation (jitter), as well as the composed effect of packet loss and jitter. Solutions to such effects are investigated in experimental tests. Results of system simulations are presented and discussed. Degradations in voice due to such effects are evaluated and a practical method to solve them is considered.

The experimental results demonstrate the technical feasibility of using voice over IP (or IP telephony) by service providers, as well as private corporations being able to forward voice and data over the same converged IP network.

Keywords: Quality of service (QoS), Voice over IP (VoIP), Voice Coder, IP Networks

Agradecimentos

Ao Dr. Hélio Waldman, da UNICAMP, pela paciência e perseverança com que orientou esta tese. Ao Dr. Daniel Moutinho Pataca, da Fundação CPqD, pelas discussões e comentários.

Aos colegas da Fundação CPqD, em especial ao Diretor Ralph Robert Heinrich por propiciar a oportunidade de meu desenvolvimento profissional neste centro de pesquisa, ao Gerente de Soluções de Redes de Telecomunicações, João Luiz Mercante, pelo apoio à realização do trabalho, ao Gerente de Inovação, Narci Edson Venturini, pelo incentivo, a Gerente de Negócios de Tecnologias de Serviços, Marta Duran Fernandez, pelo entusiasmo, ao Eng. Adelmo Alves Avancini pelo encorajamento, ao Mestre Marcos Antônio de Siqueira, pelas sugestões, a Mestre Nadia Adel Nassif, pelo ânimo, ao Mestre Niudomar Siqueira de Araújo Chaves, pela motivação, aos Engs. Jadir Antônio da Silva, Delson Meira e Fabiano Roberto Carneiro e ao Mestre Marcus Aurélio Ribeiro Manhães, pelo companherismo, a Eng. Nilsa Toyoko Azana, Eng. Márcia Lenice Vicentini de Carvalho, ao Programador Rafael Campagnoni Prado Rocchi e ao Eng. Augusto da Rocha Gomes pelo auxílio nas medidas em laboratório.

Aos profissionais com quem convivi e que me impressionaram, em especial ao Eng. José Massaaqui Uehara, pela visão e espírito agregador, ao Dr. Jorge Moreira pela dedicação à pesquisa, ao Dr. Mauro Coimbra pela determinação.

Aos membros da banca examinadora, Drs. Daniel Moutinho Pataca, da Fundação CPqD, Maurício Ferreira Magalhães, Luis Geraldo P. Meloni e Hélio Waldman, da UNICAMP, pela revisão minuciosa de todo o texto.

A todos os professores da FEEC, em especial ao Dr. Ivanil, pela célebre frase: “Fácil é o que está pronto”, pois logo aprendi seu real significado ao trabalhar em desenvolvimento.

A “tia” Mari que me conquistou e convenceu que ir à escola era importante e que conviver com crianças “desconhecidas” fazia parte do desenvolvimento dos nossos relacionamentos.

A tantos amigos e parentes queridos que lembrá-los neste momento é sempre um risco para injustiças, mas não poderia deixar de citar alguns deles. A começar pelos amigos de escola, Sérgio, Marcos César, Rawson e Adriano. Os companheiros de república, Antônio Augusto, Alexandre, Antônio Paulo e Carlos Haag. E associados, Luccas, Fernando, Marcos, Álvaro, Adalberto, Roque e Luís Ricardo. E também, Ana Paula, Isabela e Daniel, Carlos e Léo, Almir e Mitzi, Cunha, Ana Maria, Sílvia e Rodolfo, José Bonati e Cristina, Emílio, Sérgio, Cácia, João Pedro e Ana Luísa, Evilásio e Mari, Osvaldo e Lenir, Fernando e Ieda, Djalma e Marlene, João Augusto e Elaine, Eduardo e Ana Mércia, Beto e Tatiana, Francisco e Daniela, Orlando e Helenira, Sérgio e Eugênia e Elaine. Os tios, Aldo e Dulce, Georges e Mercedes, Luís e Guiomar, José Alvair e Augusta, Luiz e Alzira, Darcy e Mirtes, Geraldo e Erlinda, Francisco e Ângela, Oliri e Dione, Athaulpa e Marta. Os primos, Araripe, Cláudia e Maurício, Célia, Cássia, Angélica, Marcelo e Mateus, Ângelo e André, Marco Antônio e Fabiana, Márcio, Vânia e Flávio, Ângela Cristina e Renato, Beatriz, Raquel e Mateus, João Paulo, Ana Paula e Francisco, Daniel, Caio e Lara. Meus irmãos Beto e Andréa. E também Cristina e Maurício. Os sobrinhos Marília, Beatriz, Lucas e Vitor. Em particular, a Viviane.

Pelo apoio financeiro, agradeço à Fundação CPqD e à UNICAMP.

“Não digas, pois, no teu coração:
A minha força e o poder do meu
braço me adquiriram estas riquezas”
Deuteronômio 8:17

A meus pais, Moacyr e Guiomar
Para Viviane

Índice

Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Glossário	xv
Capítulo 1 – Introdução	
1.1. Motivação e Objetivos	1
1.2. Organização da Dissertação	2
Referências	3
Capítulo 2 – Protocolos, algoritmos e mecanismos de QoS	
2.1. Protocolos e algoritmos de QoS	5
2.1.1. RSVP – <i>Resource Reservation Protocol</i>	7
2.1.2. DiffServ – Priorização	9
2.1.3. MPLS	10
2.1.4. SBM – <i>Subnet Bandwidth Management</i>	12
2.2. Arquiteturas de QoS	14
2.2.1. MPLS para o DiffServ	16
2.3. QoS para o <i>Multicast</i>	16
2.3.1. Suporte DiffServ para <i>Multicast</i>	16
2.3.2. Suporte MPLS para <i>Multicast</i>	16
2.4. QoS habilitado por política	16
2.5. Mecanismos de controle de congestionamento	17
2.5.1. <i>First in First out</i> (FIFO - “Atendimento por ordem de chegada”)	17
2.5.2. <i>Priority Queueing</i> (PQ - “Enfileiramento por Prioridade”)	17
2.5.3. <i>Custom Queueing</i> (CQ - “Enfileiramento sob medida”)	18
2.5.4. <i>Weighted Fair Queueing</i> (WFQ - “Enfileiramento Imparcial Ponderado”)	19
2.5.5. <i>Class-Based Weighted Fair Queue</i> (CBWFQ - “Enfileiramento Imparcial Ponderado baseado em Classes”)	21
2.6. Mecanismos de prevenção de Congestionamento na rede	21
2.6.1. <i>Tail Drop</i> (“Descarte Caudatório”)	21
2.6.2. <i>Random Early Detection</i> (RED - “Detecção Precoce Aleatória”)	21
2.6.3. <i>Weighted Random Early Detection</i> (WRED - “Detecção Precoce Aleatória Ponderada”)	22
Referências	23
Capítulo 3 - Métodos de Avaliação da qualidade de voz, Fatores Relevantes, Qualidade de Serviço fim-a-fim e Qualidade da Implementação	
3.1. Métodos de Avaliação da qualidade de voz	25
3.1.1. <i>Mean Opinion Score</i> (MOS)	25

3.1.2	PSQM/PSQM+	27
3.1.3	MNB (<i>Measuring Normalizing Blocks</i>)	28
3.1.4	PAMS	28
3.1.5	PESQ	29
3.1.6	<i>E-model</i>	30
3.1.7	Recomendação P.563	30
3.2	Fatores Relevantes da Rede	31
3.2.1	Atraso	31
3.2.2	Perda de pacotes	34
3.2.3	Vazão (<i>Throughput</i>)	35
3.3	Codificação de voz e Empacotamento	36
3.4	Qualidade de Serviço Fim-a-Fim	37
3.5	Qualidade da Implementação	44
3.5.1	Otimização da Rede	44
3.5.2	Otimização de Algoritmos	46
3.5.3	Controle do <i>Buffer</i> de <i>Jitter</i>	47
3.5.4	Compensação de Perda de Pacotes	47
3.5.5	Cancelamento de Eco	47
3.5.6	Tratamento de DTMF	48
3.6	Resumo	48
	Referências	50

Capítulo 4 - Protocolos de Sinalização para VoIP

4.1	Introdução	51
4.2	H.323	51
4.2.1	Arquitetura	52
4.2.2	Sinalização e Controle	53
4.2.3	Serviços	55
4.2.4	Interconexão H.323 e PSTN	55
4.3	MGCP – <i>Media Gateway Control Protocol</i>	56
4.3.1	Arquitetura	56
4.4	MEGACO / H.248	58
4.4.1	Arquitetura Megaco/H.248	56
4.5	<i>Session Initiation Protocol</i> (SIP)	62
4.5.1	Arquitetura	62
4.5.2	Mensagens SIP	62
4.5.3	SIP, MGCP e MEGACO/H.248	63
4.6	H.323 e outros Protocolos de Sinalização VoIP	64
4.6.1	H.323 e MGCP	64
4.6.2	H.323 e SIP	64
	Referências	66

Capítulo 5 – Resultados Experimentais

5.1	Ambiente de simulação da rede IP	67
5.2	Tempo de estabelecimento de chamadas	68
5.2.1	Metodologia	69
5.2.2	Perda de Pacotes	69
5.2.3	Atraso na entrega de pacotes	70
5.2.4	<i>Jitter</i>	71
5.2.5	Perda de Pacotes e <i>jitter</i>	72
5.3	Medidas PSQM+	73
5.3.1	Metodologia	73
5.3.2	Perda de pacotes	74
5.3.3	<i>Jitter</i>	75
5.3.4	Perda de pacotes e <i>jitter</i>	77
5.4	Medidas de Atraso	78
5.5	Largura de Banda dos Codecs	79
5.5.1	Ambiente para as medidas de banda	79
5.5.2	Utilizando Codec G711	80
5.5.3	Utilizando Codec G.729	82
5.6	Topologia e ambiente para as medidas na rede IP experimental	84
5.6.1	Medidas de PSQM+, atraso e banda (com e sem carga de dados no enlace)	86
5.6.2	Sem QoS (FIFO) G.711 e sem carga de dados (0%)	87
5.6.3	WFQ G.711 sem VAD e 10% de carga de dados	88
5.6.4	WFQ G.711 sem VAD e carga complementando a banda	90
5.6.5	Sem QoS (FIFO) G.711 com VAD e sem carga de dados (0%)	91
5.6.6	WFQ G.711 com VAD e 10% de carga de dados	93
5.6.7	WFQ G.711 com VAD e 50% de carga de dados	95
5.6.8	WFQ G.711 com VAD e carga complementando a banda	97
5.6.9	Sem QoS (FIFO) G.729 sem VAD e sem carga de dados (0%)	99
5.6.10	WFQ G.729 sem VAD e 10% de carga de dados	100
5.6.11	WFQ G.729 sem VAD e 50% de carga de dados	102
5.6.12	WFQ G.729 sem VAD complementando a banda	103
5.6.13	Sem QoS (FIFO) G.729 com VAD e sem carga de dados (0%)	105
5.6.14	Sem QoS (FIFO) G.729 com VAD e 10% de carga de dados	106
5.6.15	Sem QoS (FIFO) G.729 com VAD e 50% de carga de dados	108
5.6.16	Sem QoS (FIFO) G.729 com VAD e carga complementando a banda	110
5.6.17	WFQ G.729 com VAD e 10% de carga de dados	110
5.6.18	WFQ G.729 com VAD e 50% de carga de dados	112
5.6.19	WFQ G.729 com VAD e carga complementando a banda	114
5.7	PSQM+ TDM	115
5.8	Gráficos comparativos	117
5.9	PSQM+ no cenário DiffServ/MPLS	118
5.10	Referências	119

Capítulo 6 – Conclusão 121

Apêndice A - VoIP e NGN

A.1	Característica da NGN	123
A.2	VoIP em NGN	125
A.3	Estratégias para migração das redes telefônicas em direção às redes de próxima geração	127
A.3.1	Uma estrutura geral para a migração a NGN	127
A.3.2	PSTN para Voz e Internet	128
A.3.3	Consolidação da PSTN	129
A.3.4	Voz sobre Pacote para o Entroncamento	130
A.3.5	Voz sobre Pacote para o Acesso	131
A.3.6	Introdução da Multimídia	133
A.3.7	Migração para totalmente NGN	135
A.3.8	Estratégia de Migração Alternativa	136
A.4	Principais Recomendações em NGN do ITU-T	138
	Referências	138

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Estabelecimento da reserva de recursos entre Origem e Destino. Mensagens RSVP “PATH” e “RESV” são usadas para estabelecer uma reserva de recursos entre a origem e destino. Há também uma finalização explícita das reservas (não mostrado)	8
Figura 2.2 - Arquitetura para Serviços Diferenciados	9
Figura 2.3 - Os Códigos dos Serviços Diferenciados (DSCP) redefinem o byte Tipo de Serviço (TOS) do IPv4. Os bits de precedência do IP são preservados no seletor de classe codepoint & PHBs, mas não os valores do TOS.	10
Figura 2.4 - Pilha do rótulo MPLS de entrada usada para “encapsular” o cabeçalho IP	11
Figura 2.5 - Formas da arquitetura SBM: Alocador de Banda centralizado ou distribuído	13
Figura 2.6 - No mundo real “fim-a-fim” e “de cima para baixo” significa lidar com a heterogeneidade e incluir tecnologias de QoS que foram feitas para se complementarem de modo fim-a-fim.	15
Figura 2.7 - Possíveis utilizações das tecnologias de QoS	15
Figura 2.8 - Priority Queuing (PQ)	17
Figura 2.9 - Divisão de Largura de Banda (CQ)	18
Figura 2.10 - Custom Queuing (CQ)	19
Figura 2.11 - Weighted Fair Queuing	20
Figura 2.12 - WRED	22
Figura 2.13 - Limites de descarte para dois níveis de serviço: padrão (1) e premium (2), por exemplo.	22
Figura 3.1 - Valores do fator R do modelo E são mostrados à esquerda e à direita os valores MOS correspondentes. O provável nível de satisfação dos ouvintes humanos é mostrado no centro	30
Figura 3.2 - Exemplos de empacotamento	36
Figura 3.3 – Fatores da qualidade da chamada	43
Figura 3.4 - Cabeçalho Shim	45
Figura 3.5 - Mapeamento IP Precedence - EXP MPLS	45
Figura 3.6 - Exemplo de E-LSP MPLS	46
Figura 3.7 - L-LSP MPLS	46
Figura 3.8 – Otimização da qualidade da voz em redes IP	49
Figura 4.1 - Arquitetura H.323	52
Figura 4.2 - Relacionamento dos Protocolos no H.323	53
Figura 4.3 - Chamada direta e via GK no H.323	54
Figura 4.4 - Componentes do Gateway conectando as redes PSTN e IP	56
Figura 4.5 - Arquitetura MGCP	57
Figura 4.6 - Topologia da rede Megaco/H.248	58
Figura 4.7 - Arquitetura do Megaco/H.248	59
Figura 4.8 - Modelo de Conexões Megaco/H.248	60
Figura 4.9 - Elementos da arquitetura SIP	63
Figura 4.10 - Interação entre MGCP, Megaco e SIP	64
Figura 5.1 - Ambiente de Medida de PSQM+	67
Figura 5.2 - Gráfico do Tempo de estabelecimento de Chamadas em função da Perda de Pacotes	70
Figura 5.3 - Gráfico do Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do Atraso	71
Figura 5.4 - Gráfico do Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do Jitter	72
Figura 5.5 - Resultados das Medidas de PSQM+	75
Figura 5.6 - Medidas de PSQM+	77

Figura 5.7 - Configuração para medir a banda utilizada pelos Codecs	80
Figura 5.8 - G.711 com VAD, com compressão dos cabeçalhos	80
Figura 5.9 - G.711 com VAD, sem compressão dos cabeçalhos	81
Figura 5.10 - G.711 sem VAD, com compressão dos cabeçalhos	81
Figura 5.11 - G.711 sem VAD, sem compressão dos cabeçalhos	82
Figura 5.12 - G.729 com VAD, com compressão dos cabeçalhos	82
Figura 5.13 - G.729 com VAD, sem compressão dos cabeçalhos	83
Figura 5.14 - G.729 sem VAD, com compressão dos cabeçalhos	83
Figura 5.15 - G.729 sem VAD, sem compressão dos cabeçalhos	84
Figura 5.16 - Topologia utilizada para as medidas	85
Figura 5.17 - % de Carga de dados e Qualidade x Tempo com e sem QoS	86
Figura 5.18 - Banda consumida utilizando G.711 sem VAD (tráfego somente de voz)	88
Figura 5.19 - Banda consumida utilizando G.711 sem VAD e carga de 10%	90
Figura 5.20 - Banda consumida utilizando G.711 sem VAD e carga complementando a banda	91
Figura 5.21 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD (somente tráfego de voz)	93
Figura 5.22 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD e carga de 10%	95
Figura 5.23 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD e carga de 50%	97
Figura 5.24 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD carga complementando a banda	98
Figura 5.25 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD (somente tráfego de voz)	100
Figura 5.26 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD e carga de 10%	102
Figura 5.27 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD e carga de 50%	103
Figura 5.28 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD e carga complementando a banda	104
Figura 5.29 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD (tráfego somente de voz)	106
Figura 5.30 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 10%	108
Figura 5.31 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 50%	109
Figura 5.32 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga complementando a banda	110
Figura 5.33 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 10%	112
Figura 5.34 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 50%	113
Figura 5.35 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga complementando a banda	115
Figura 5.36 - Comparação do PSQM+ obtido nas diversas condições	117
Figura 5.37 - Comparação do atraso fim-a-fim obtido nas diversas condições	118
Figura A.1 - Rede de Próxima Geração (NGN)	124
Figura A.2 - Características da transição para os serviços VoIP	125
Figura A.3 - Cronologia aproximada dos marcos principais	127
Figura A.4 - Passo 1: PSTN para voz e Internet	128
Figura A.5 - Consolidação da PSTN	129
Figura A.6 - Voz sobre Pacote para o Entroncamento	131
Figura A.7 - Voz sobre Pacotes no acesso e CPE	132
Figura A.8 - Telefonia IP PC a Telefone ou Telefone a PC	133
Figura A.9 - Passo 5: Multimídia	135
Figura A.10 - Passo 6: Totalmente NGN	136
Figura A.11 - Migração alternativa	137

Lista de Tabelas

Tabela 2.1– Mostra os diferentes protocolos e algoritmos de gerenciamento de banda, seus níveis de QoS e se são ativados pelos elementos de rede (Elem.) e/ou aplicações (Aplic.)	6
Tabela 3.1 - Escala da Qualidade do Entendimento (MOS)	26
Tabela 3.2 - Escala de esforço para o entendimento (MOS-LE)	26
Tabela 3.3 - Escala de Preferência de Intensidade Sonora (MOS-LP)	26
Tabela 3.4 - valores MOS dos Codecs	27
Tabela 3.5 - Comparação dos métodos	30
Tabela 3.6 - Atraso fixo em VoIP	32
Tabela 3.7- Requisitos de atraso fim-a-fim para sistemas TIPHON	33
Tabela 3.8 - Relação entre atraso e MOS	33
Tabela 3.9 - Níveis de degradação da rede baseada no jitter	34
Tabela 3.10 - Relação da Perda de pacote e MOS	34
Tabela 3.11 - Níveis de degradação da rede	35
Tabela 3.12 - Vazão típica para diferentes tipos de aplicação	36
Tabela 3.13 - Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R) para os sistemas TIPHON	38
Tabela 3.14 – Categorias de qualidade de transmissão de voz definidos pelo ITU-T	39
Tabela 3.15 - Qualidade da voz dos sistemas TIPHON	39
Tabela 3.16 - Atraso fim-a-fim para os sistemas TIPHON	40
Tabela 3.17 - Principais parâmetros de qualidade de voz IP e suas associações	40
Tabela 3.18 - Requisitos de QoS - Valores Quantitativos	41
Tabela 4.1 - Fases de uma chamada H.323	54
Tabela 4.2 - Comparação entre o Megaco/H.248 e MGCP	61
Tabela 4.3 - Comparação H.323 e SIP	65
Tabela 5.1 - Equipamentos Utilizados	67
Tabela 5.2 - Softwares Utilizados	68
Tabela 5.3 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função da Perda de Pacotes	69
Tabela 5.4 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do Atraso	70
Tabela 5.5 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do Jitter médio	71
Tabela 5.6 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função da Perda de Pacotes e Jitter	72
Tabela 5.7 - Medidas de PSQM+ em função da % da perda de pacotes	74
Tabela 5.8 – Medidas de PSQM+ em função do jitter médio	76
Tabela 5.9 - Medidas de PSQM+ em função da % da perda de pacotes e jitter médio	78
Tabela 5.10 - Atraso em função dos Codecs	79
Tabela 5.11 - Medidas de PSQM+ sem QoS (FIFO) com G.711 sem VAD	87
Tabela 5.12 – Atraso fim-a-fim	88
Tabela 5.13 - PSQM+ WFQ G.711 sem VAD 10% de carga de dados	89
Tabela 5.14 – Atraso fim-a-fim	89
Tabela 5.15 - PSQM+ WFQ G.711 sem VAD carga complementando a banda	90
Tabela 5.16 - Atraso fim-a-fim	91
Tabela 5.17 - PSQM+ (FIFO) G.711 com VAD	92
Tabela 5.18 - Atraso fim-a-fim	92
Tabela 5.19 - PSQM+ WFQ G.711 com VAD 10%	94
Tabela 5.20 - Atraso fim-a-fim	94
Tabela 5.21 - PSQM+ WFQ G.711 com VAD 50%	96
Tabela 5.22 - Atraso fim-a-fim	96

Tabela 5.23 - PSQM+ WFQ G.711 com VAD complementando a banda	98
Tabela 5.24 - Atraso fim-a-fim	98
Tabela 5.25 - PSQM+ (FIFO) G.729 sem VAD	99
Tabela 5.26 - Atraso fim-a-fim	99
Tabela 5.27 - PSQM+ WFQ G.729 sem VAD e 10%	101
Tabela 5.28 - Atraso fim-a-fim	101
Tabela 5.29 - PSQM+ WFQ G.729 sem VAD e 50%	102
Tabela 5.30 - Atraso fim-a-fim	103
Tabela 5.31 - PSQM+ WFQ G.729 sem VAD e complementando a banda	104
Tabela 5.32 - Atraso fim-a-fim	104
Tabela 5.33 - PSQM+ FIFO G.729 com VAD	105
Tabela 5.34 - Atraso fim-a-fim	105
Tabela 5.35 - PSQM+ FIFO G.729 com VAD e 10%	107
Tabela 5.36 - Atraso fim-a-fim	107
Tabela 5.37 - PSQM+ FIFO G.729 com VAD e 50%	109
Tabela 5.38 - Atraso fim-a-fim	109
Tabela 5.39 - Atraso fim-a-fim	110
Tabela 5.40 - PSQM+ WFQ G.729 com VAD 10%	111
Tabela 5.41 - Atraso fim-a-fim	111
Tabela 5.42 - PSQM+ WFQ G.729 com VAD 50%	113
Tabela 5.43 - Atraso fim-a-fim	113
Tabela 5.44 - WFQ G.729 com VAD complementando a banda	114
Tabela 5.45 - Atraso fim-a-fim	114
Tabela 5.46 - PSQM+ na rede TDM (PSTN)	115
Tabela 5.47 - Atraso fim-a-fim	116

Glossário

AAA	Authentication, Authorization, and Accounting
2G	Second Generation mobile network
3G	Third Generation mobile network
3GPP	3rd Generation Partnership Project
4G	Fourth Generation mobile network
AAL	ATM Adaptation Layer
AALn	ATM Adaptation Layer n
ABR	Available Bit Rate
ACELP	Algebraic Code-Excited Linear Prediction
ACR	Absolute Category Rating
ADM	Add/Drop Multiplexer
ADPCM	Adaptive Differential Pulse Code Modulation
ADSL	Asynchronous Digital Subscriber Line
AF	ATM Forum
AF	Assured Forwarding
AGW	Access Gateway
AIN	Advanced Intelligent Network
AINI	ATM InterNetworking Interface
AMA	Automatic Messaging Accounting
AN	Access Node
ANSI	American National Standards Institute
AOCE	Advice Of Charge at the End
AON	All Optical Network
ApGW	Application Gateway
API	Application Programming Interface
APS	Automatic Protection Switching
ARP	Address Resolution Protocol
AS	Application Server
ASIC	Application Specific Integrated Circuit
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATMF	ATM Forum
AU	Administrative Unit
AUG	Administrative Unit Group
AVVID	Architecture for Voice, Video and Integrated Data
BA	Bandwidth Allocator
BA	Behaviour Aggregate
BAS	Broadband Access Server
BC	Bearer Control
Bc	Committed Burst Size
Be	Excess Burst Size
BE	Border Element
BGP	Border Gateway Protocol
BHCA	Busy Hour Call Attempts
BICC	Bearer Independent Call Control
B-ICI	Broadband InterCarrier Interface
B-ISDN	Broadband ISDN

B-ISUP	B-ISDN Services User Part
BSHR	Bidirecional Self Healing Ring
BSS	Business Support Systems
CA	Call Agent
CALEA	Communications Assistance for Law Enforcement Act
CAPEX	Capital Expenditure
CAS	Channel Associated Signaling
CBR	Constant Bit Rate
CBWFQ	Class-Based Weighted Fair Queuing
CCM	Customer Callout Modules
CDR	Call Detail Record
CES	Circuit Emulation Service
CFQ	Class-Based Fair Queuing
CGI	Common Gateway Interface
CID	Connection ID
CIR	Committed Information Rate
CLASS	Custom Local Area Signaling Services
CLIP	Calling Line Identification Presentation
CLIR	Calling Line Identification Restriction
CMIP	Common Management Interface Protocol
CPA-T	Central de Programa Armazenado de Comutação Temporal
CPE	Customer Premises Equipment
CPL	Call Processing Language
CO	Central Office
CODEC	Coder/Decoder
COPS	Common Open Policy Service (IETF)
CORBA	Common Object Request Broker Architecture
CoS	Class of Service
CPE	Customer Premises Equipment
CQ	Custom Queuing
CR-LDP	Constraint-based Routed Label Distribution Protocol
CRM	Customer Relationship Management
CS	Call Server
CS-ACELP	Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction
CS1	Capability Set 1
dB	Decibel
DiffServ	Differentiated Services
DLCI	Data Link Connection Identifier (FR)
DNS	Domain Name Service
DPT	Dynamic Packet Transport
DSCP	Differentiated Services Code Point
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSP	Digital Signal Processing
DSS1	Digital Subscriber Signaling System 1 (N-ISDN)
DSS2	Digital Subscriber Signaling System 2 (B-ISDN)
DTM	Dynamic Transfer Mode
DTMF	Dual Tone Multiple Frequency
DQDB	Distributed Queue Dual Bus
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing

EBGP	Exterior Border Gateway Protocol
ECMP	Equal-Cost Multipath
ECN	Explicit Congestion Notification
e-CRM	Electronic – Customer Relationship Management
EF	Expedited Forwarding
EFCI	Explicit Forward Congestion Indication
EFR	Enhanced Full Rate
EGP	Exterior Gateway Protocol
E-LSP	Exp-Inferred-LSP
E-model	The E-model, a computational model for use in transmission planning
ERP	Enterprise Resource Planning
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
EXP	Experimental
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance, and Security
FCC	Federal Communications Commission
FCFS	First-Come First-Served
FDDI	Fiber Distributed Data Interface
FDM	Frequency Division Multiplexing
FEC	Forward Error Control
FEC	Forwarding Equivalence Class
FEC	Forward Error Correction
FIFO	First-in First-Out
FQ	Fair Queuing
FR	Frame Relay
FR	Full Rate
FRAD	Frame Relay Access Device
FRF	Frame Relay Forum
Frftc	Frame Relay Forum Technical Committee
FTTx	Fiber-to-the-x (x = Building, Curb, Desk, Home, etc)
FXS	Foreign eXchange Subscriber
FWA	Fixed Wireless Access
GFR	Guaranteed Frame Rate
GII	Global Information Infrastructure
GK	Gatekeeper
GR	Generic Requirements
GSM	Global System for Mobile
GSMP	General Switch Management Protocol
GTT	Global Title Translation
GW	Gateway
HDLC	High Level Data Link Control
HTML	Hyper Text Markup Language
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IA	Implementation Agreement
IAD	Integrated Access Device
ICMP	Internet Control Message Protocol
ID	Identifier (Identity/Identification)
IE	Information Element
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force

IGP	Interior Gateway Protocol
IKE	Internet Key Exchange
ILEC	Incumbent Local Exchange Carrier
IMA	Inverse Multiplexing over ATM
IN	Intelligent Network
INAP	Intelligent Network Application Protocol
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
IPCC	IP Contact Center
IPDC	IP Device Control Protocol
IPOT	Octet based IP packet throughput
IPPT	IP Packet Throughput
IPSec	IP SECurity
IPv4	Internet Protocol version 4
IPv6	Internet Protocol version 6
IPX	Internetwork Packet Exchange
IS	Intermediate System
ISDN	Integrated Services Digital Network
IS-IS	Intermediate System-Intermediate System (Routing Protocol)
ISP	Internet Service Provider
ISSLL	Integrated Services over Specific Link Layers
ISUP	ISDN Services User Part
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunications Standardization Sector
ITU-R	International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector
IVR	Interactive Voice Response
IXC	Inter-eXchange Carrier
IWF	Interworking Function
JAIN	Java APIs for Integrated Networks
JCAT	JAIN Coordination and Transactions
JTAPI	JAVA Telephony Application Programming Interface
kbps	Quilobits por segundo (kbit/s)
LAN	Local Area Network
LD-CELP	Low Delay Code Excited Linear Prediction
LDAP	Lightweight Data Access Protocol
LDP	Label Distribution Protocol
LE	Listening Effort
LEX	Local Exchange
L-LSP	Label-Only-Inferred-LSP
LLC/SNAP	Logical Link Control/SubNetwork Access Protocol
LMDS	Local Multipoint Distribution System
LP	Logical Port
LQ	Listening Quality
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switch Router
m2ua	MTP 2 User Adaptation
m3ua	MTP 3 User Adaptation
MAC	Medium Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MAP	Manufacturing Automation Protocol

MBS	Maximum Burst Size
MCU	Multipoint Control Unit
MEGACO	Media Gateway Control
MEGACOP	Media Gateway Control Protocol
MF	Mediation Function
MG	Media Gateway
MGC	Media Gateway Controller
MGCP	Media Gateway Control Protocol
MIB	Management Information Base
MIB I	Management Information Base I
MIB II	Management Information Base II
MIP	Mobile IP
MM	Multimedia
MMUSIC	Multiparty Multimedia Session Control
MNB	Measuring Normalized Blocks
MOS	Mean Opinion Score
MOS-LE	Mean Opinion Score - Listening Effort
MOS-LP	Mean Opinion Score - Loudness Preference
MP-MLQ	Multi-pulse Maximum Likelihood Quantization
MPLS	MultiProtocol Label Switching
MPOA	Multi-Protocol Over ATM
MSF	Multiservice Switching Forum
MSS	Multiservice Switching System
MTP	Message Transfer Part
NAT	Network Address Translation
NAS	Network Access Server
NGN	Next-Generation Networks
NHFLE	Next Hop Forwarding Label Entry
NHRP	Next Hop Resolution Protocol
N-ISDN	Narrowband ISDN
NNI	Network Node Interface
Nrt	Non Real Time
nrt-VBR	non-real time Variable Bit Rate
NT	Network Termination
OAM	Operations Administration Maintenance
OAM&P	Operations Administration Maintenance and Provisioning
OIF	Optical Internetworking Forum
OMG	Object Management Group
OPEX	Operating Expenditure
OPT	Open Packet Telephony
OSA	Open Service Access
OSI	Open System Interconnection
OSPF	Open Shortest Path First
OSS	Operation Support Systems
OVPN	Optical VPN
OXC	Optical Cross Connect
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PAMS	Perceptual Analysis Measurement System
PBX	Private Branch Exchange

PCI	Peripheral Component Interconnect
PCM	Pulse Code Modulation
PCR	Peak Cell Rate
PDH	Plesyochronous Digital Hierarchy
PDU	Protocol Data Unit
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PHB	Per Hop Behavior
PIM	Protocol Independent Multicast
PIN	Personal Identification Number
PINT	PSTN and Internet Interworking
PKI	Public Key Infrastructure
PNNI	Private Network-to-Network Interface or Private Network Node Interface
POH	Path Overhead
PoS	Packet over Sonet
POTS	Plain Old Telephony Service
PPP	Point to Point Protocol
PQ	Priority Queuing
PRI	Primary Rate Interface
PSPDN	Public Switched Packet Data Network
PSQM	Perceptual Speech Quality Measurement
PSQM+	Perceptual Speech Quality Measurement Enhanced
PSTN	Public Switched Telephone Network
PTA	Public Telecommunication Administration
pt-mpt	Point to Multi-point
PVC	Permanent Virtual Connection
QoS	Quality of Service
RADIUS	Remote Authentication Dial In User Service
RAS	Remote Access Server
RAS	Registration Admission and Status
RDI	Remote Defect Indication
RDSI-FE	Rede Digital de Serviços Integrados – Faixa Estreita
RED	Random Early Detection
RFC	Request for Comment (IETF)
RGW	Residencial Gateway
RI	Rede Inteligente
RIP	Routing Information Protocol
RM	Requestor Module
RM	Resource Management
RSVP	Resource ReSerVation Protocol
RSVP-TE	RSVP-Traffic Engineering
RPE-LCP	Regular Pulse Excited - Linear Predictive Coder
Rt	Real Time
RTCP	Real Time Transport Control Protocol
RTPC	Rede Telefônica Pública Comutada
RTP	Real Time Transport Protocol
SAR	Segmentation And Reassembly
SBM	Subnet Bandwidth Management
SCI	Switch Control Interface
SCAPI	Switch Control API

SCN	Switched Circuit Network
SCP	Service Control Point
SCP	Switch Control Protocol
SCR	Sustainable Cell Rate
SCTP	Simple Control Transmission Protocol
SDH	Synchronous Digital Hierarchy (ITU-T)
SDL	Simple Data Link
SDXC	Synchronous Digital Cross Connection
SF	Switching Function
SG	Signaling Gateway
SG	Study Group (ITU-T)
SIGTRAN	SIGnaling TRANsport
SIP	Session Initiation Protocol
SIP-T	SIP for Telephones
SLA	Service Level Agreement
SLC	Service Level Contract
SM	Switch Management
SMI	Switch Management Interface
SNAP	SubNetwork Access Protocol
SNI	Service Node Interface
SNMP	Simple Network Management Protocol (IETF)
SOHO	Small Office Home Office
SONET	Synchronous Optical Network (ANSI)
SPE	Synchronous Payload Envelopes
SPIRITS	Service in the PSTN/IN Requesting Internet Service
SPF	Switch Partitioning Function
S-PVC	Switched Permanent Virtual Connection
SRP	Spatial Reuse Protocol
SS	Softswitch
SS7	Signaling System Number 7
SSCF	Service Specific Coordination Function
SSCOP	Service Specific Connection Oriented Protocol
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer
STM-n	Synchronous Transfer Module level n
STP	Signal Transfer Point
SVC	Switched Virtual Circuit
TAPI	Telephony Application Programming Interface
TCAP	Transmission Capabilities Application Part
TCP	Transmission Control Protocol (IETF)
TDM	Time Division Multiplexing
TE	Traffic Engineering
TE	Terminal Equipment
TEX	Transit Exchange
TGW	Trunking Gateway
TIPHON	Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks
TLV	Type, Length, Value
TMF	Telemanagement Forum
TMN	Telecommunication Management Network
TMO	Trans-Metro Optical Switching

TOS	Type of Service
TTL	Time-to-live
TU	Tributary Unit
TUG	Tributary Unit Group
TUP	Telephone User Part
UBR	Unspecified Bit Rate
UDP	User Datagram Protocol (IETF)
UML	Unified Modeling Language
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UNI	User-to-Network Interface
URL	Uniform Resource Locator
USHR	Unidirectional Self Healing Ring
VAD	Voice Activity Detection
VAS	Value Added Service
VBR	Variable Bit Rate
VC	Virtual Channel (ATM)
VC	Virtual Container (SDH)
VCI	Virtual Channel Identifier
VLAN	Virtual Local Area Network
VoATM	Voice Over ATM
VoDSL	Voice Over DSL
VoFR	Voice over Frame Relay
VoIP	Voice over Internet Protocol
VP	Virtual Path (ATM)
VPI	Virtual Path Identifier
VPN	Virtual Private Network
VSC	Virtual Switch Control
VSI	Virtual Switch Interface
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WFQ	Weighted Fair Queuing
WLL	Wireless Local Loop
WRED	Weighted Random Early Detection
WTSA	World Telecommunication Standardization Assembly
WTSC	World Telecommunication Standardization Conference
WWW	World Wide Web
XDM	DWDM optical networking multiplexer, narrow, wide and broadband Digital Cross-Connects, IP routing, ATM switching and SDH Add-Drop-Multiplexers (ECI Telecom)
xDSL	(x = A - asymmetric, C - Consumer , G-lite (also known as DSL Lite, splitterless ADSL, and Universal ADSL , officially ITU-T standard G-992.2), H - High bit-rate, I - ISDN, R - Rate-Adaptive, S - Symmetric, U - Unidirectional, V - Very high data rate) Digital Subscriber Line

Capítulo 1

Introdução

1.1. Motivação e Objetivos

Tradicionalmente para cada tipo de serviço desenvolveu-se uma tecnologia de rede dedicada que o suportasse. Assim tem-se, por exemplo, o serviço telefônico (voz) e a Rede Telefônica Pública Comutada (RTPC) ou, em inglês, *Public Switching Telephony Network* (PSTN), o serviço de transporte de dados e as tecnologias X-25 e *Frame Relay*, o serviço de televisão por radiodifusão e a rede de TV, etc.

Não tardou muito para que se percebesse a desvantagem desta abordagem quando há a necessidade de mais de um serviço em um determinado ambiente. Por exemplo, voz e dados e a consequente instalação e manutenção de duas redes.

A idéia de se transmitir voz e dados em uma única rede não é nova. No final da década de 80 através dos esforços no desenvolvimento da Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Estreita (RDSI-FE) ou, em inglês, *Narrow Band- Integrated Services Data Network* (N-ISDN) chegou-se à possibilidade de se conectar em um acesso básico de 144 kbit/s até 8 dispositivos de rede por meio de um único par de fios trançados (podendo 2 deles simultaneamente operarem). Por exemplo, uma conversação telefônica (voz) e uma transmissão de dados via Modem ocorrendo ao mesmo tempo.

Concomitantemente para o núcleo da rede (*backbone*) as soluções envolvendo Dispositivos de Acesso para o *Frame Relay* (FRAD) para os equipamentos que não suportavam a tecnologia *Frame Relay* promoviam algo equivalente com a voz e os dados¹.

A evolução da RDSI-FE foi justamente a proposta da criação de uma rede única capaz de trafegar todos os serviços (os anteriores, Faixa Estreita e incluindo os de Faixa Larga). Os esforços culminaram no transporte da informação em células (pacote pequeno e de tamanho fixo) de 53 octetos numa arquitetura de rede orientada a conexão. A tecnologia de suporte a tal arquitetura foi desenvolvida e padronizada pelo ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunications Standardization Sector*), na década de 90, com a denominação de *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) e também no ATM Forum. Pela primeira vez em uma tecnologia de rede foi explicitamente levada em consideração, desde a sua concepção, a necessidade de qualidade de serviço (QoS – *Quality of Service*), especialmente para as aplicações e serviços em tempo real.

Também na década de 90 surge o fenômeno da Internet apoiado na arquitetura TCP/IP (*Transport Control Protocol/Internet Protocol*), que já anteriormente havia sido desenvolvida e disseminada em um ambiente acadêmico e aberto, o que facilitou e estimulou a troca de informações durante seu desenvolvimento. Dado o crescimento da Internet o TCP/IP tornou-se um padrão “de fato”. Esta arquitetura de rede é não-orientada à conexão, os datagramas IP não possuem tamanho fixo como nas células do ATM e o TCP/IP apresenta uma escalabilidade que, associado ao fato de ser aberto e gratuito e demonstrar bons resultados, explica a grande expansão que se observa. Mas o TCP/IP não foi inicialmente desenvolvido para o transporte de serviços em tempo real. Ou seja, fenômenos intrínsecos em uma rede de pacotes como perda de pacote, atraso e variação do atraso (*jitter*) causam perturbações tanto na interatividade quanto na qualidade do sinal nos serviços de voz ou vídeo-conferência, por exemplo.

Em meados da década de 90 a empresa VocalTec desenvolveu um aplicativo para o transporte de voz na Internet² e imediatamente multiplicaram-se as ofertas de serviços de voz/multimídia através da Internet pública (denominada Telefonia na Internet), bem como nas redes IP privadas dos provedores e corporações (denominada Voz sobre IP). Isto só foi possível graças ao desenvolvimento, dentre outros,

de novas metodologias tanto de encaminhamento de pacotes quanto de transporte, bem como codificação de voz.

Para o encaminhamento dos pacotes surge o RTP (*Real Time Transport Protocol*) que atualiza o UDP (*User Datagram Protocol*) fornecendo um carimbo de tempo (“*time-stamp*”) para o controle do jitter no receptor e número para sequência dos pacotes; o DiffServ (*Differentiated Services*) que utiliza o campo “Tipo de Serviço” (*Type of Service – TOS*) intrínseco do IP; o RSVP (*Resource Reservation Protocol*) que estabelece reserva de facilidades para um fluxo (a partir do receptor) e, mais recentemente, o MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) que estabelece caminhos a partir de rótulos no cabeçalho dos datagramas definidos especificamente para cada Classe de Equivalência para Encaminhamento (FEC- *Forwarding Equivalence Class*).

Quanto às novas metodologias de transporte, observa-se que as redes de dados de alta capacidade são estruturadas, por exemplo, em 4 camadas: IP, ATM, SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) e DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Tal arquitetura possui uma camada que não escala bem para altas capacidades de tráfego, e o desempenho final depende da camada que possui o menor desempenho. Por isso esta arquitetura evoluirá para apenas duas camadas: IP (MPLS) e DWDM.

Uma solução alternativa para tais implementações (que contornam as restrições impostas pela rede de pacotes) é o aumento significativo da banda passante (explorando, principalmente, a banda disponível na fibra óptica), o que também é objeto de pesquisas em diversas instituições³.

Este trabalho apresenta os resultados relativos as medidas de qualidade de voz em redes IP simulada e experimental. Foram consideradas as diversas condições simuladas da rede, o tipo de codificador de voz e a consequente banda consumida. Na rede experimental considerou-se o mecanismo ou protocolo de QoS aplicado para que se garanta a qualidade da voz (competição entre dados e voz na rede) e a banda disponível no enlace.

O objetivo do trabalho, além de realizar um estudo da qualidade de voz em redes IP, é também comprovar, através de medidas, a relação entre a qualidade de voz e as diferentes condições da rede.

A tecnologia VoIP tem afetado o mercado nos mais diversos setores, tais como indústria, provedores, corporações, agências reguladoras, usuários, etc⁴. Os provedores de serviço de voz, por exemplo, reavaliam seus modelos de negócios⁵ para que a cobrança seja adequada ao novo cenário de precificação⁶. Os aspectos regulatórios também estão sendo discutidos⁷ e é cada dia maior o número de usuários de aplicativos de voz na Internet, como *NetMeeting*⁸ ou *Skype*^{9,10}, atraídos pela facilidade e baixo custo envolvidos.

Conhecer melhor a tecnologia, os benefícios propiciados, as limitações inerentes e as conseqüentes implicações sistêmicas motivam a busca contínua do aprimoramento das soluções e do desenvolvimento de novos produtos e serviços.

1.2. Organização da Dissertação

Este trabalho está organizado em capítulos e apêndice.

O segundo capítulo apresenta uma descrição dos protocolos, algoritmos e mecanismos de QoS para as redes baseadas no protocolo IP, e como operam.

O terceiro capítulo apresenta os métodos utilizados para a avaliação da qualidade de voz, bem como os fatores relevantes que a afetam, tais como atraso, *jitter*, perda e codificação a baixas taxas. Apresenta, também, alguns aspectos da qualidade de serviço fim-a-fim e da qualidade da implementação.

O quarto capítulo descreve os protocolos de sinalização utilizados para VoIP. Desde o H.323 (primeiro padrão aprovado pelo ITU-T em 1996) até os mais recentes como SIP (*Session Initiation Protocol*) desenvolvido pelo IETF (*Internet Engineer Task Force*) e H.248/Megaco (ITU-T/IETF).

O quinto capítulo apresenta os resultados obtidos em redes IP simulada e experimental. Para a simulação da rede IP utilizou-se o *software* Cloud da Shunra. Os testes nas diversas condições simuladas de rede evidenciaram tanto as degradações no tempo de estabelecimento da chamada quanto na voz. Os valores relativos ao atraso, variação do atraso (*jitter*) e perda de pacotes usados nas simulações foram baseados nos utilizados nas classes de QoS fim-a-fim, classes de rede e categorias de degradação da rede do projeto TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization over Networks*) do ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Foram medidos, também, os atrasos com os codecs G.711 e G.729 (com e sem VAD), bem como a largura de banda destes. Em uma rede IP experimental foram, também, realizadas medidas da qualidade de voz (PSQM+) tanto na presença quanto na ausência de qualidade de serviço (com e sem carga de dados no enlace). Além disso, foram medidos o atraso fim-a-fim e a largura de banda no enlace durante os testes.

O sexto capítulo descreve as conclusões obtidas no trabalho, assim como as contribuições e sugestões para trabalhos futuros na linha de qualidade de serviço.

O apêndice A descreve a relação entre VoIP e as Redes de Próxima Geração (*Next-Generation Networks* – NGN)

Referências Bibliográficas

- ¹ E. R. Vale; Arquiteturas de Redes NGN, Convergência IP/PSTN, IIR Conferences, setembro/2001, São Paulo-SP.
- ² “VocalTec and GNN Provide Internet Phone to GNN Members for Free” ; Dec. 1995. http://www.vocaltec.com/html/news1995/press_12_05.shtml.
- ³ “Fujitsu Demonstrates 2.11 Terabit Fiber Optic DWDM Transmission Over 7,200 km”; Fujitsu Laboratories Ltd., September, 2000. <http://pr.fujitsu.com/en/news/2000/09/25.html>.
- ⁴ “Adoção de VoIP promete agitar o mercado”, WorldTelecom, 2004. <http://world.idg.com.br/AdPortalV3/adCmsDocumentoShow.aspx?documento=30388&Area=600>
- ⁵ “O modelo de negócios, ainda sem definição”, Jornal Telecom, 2004. <http://www.jornaltelecom.com.br/Plano/jt/calandra.nsf/0/8325693D0061D46F03256DF20059DE70?OpenDocument&SMercado>
- ⁶ C. Courcoubetis and R. Weber, "Pricing Communication Networks: Economics, Technology and Modelling", Wiley, 2003.
- ⁷ Silvia R. B. Melchior, “VoIP e sua Inserção no Ambiente Regulatório Hoje”, 2004. <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialvoip/default.asp>
- ⁸ <http://www.microsoft.com/windows/netmeeting/>
- ⁹ Salman A. Baset and Henning Schulzrinne, “An Analysis of the Skype Peer-to-Peer Internet Telephony Protocol”, Sept. 2004.
- ¹⁰ <http://www.skype.com/helloagain.html>

Capítulo 2

Protocolos, algoritmos e mecanismos de QoS

Este capítulo apresenta uma descrição dos protocolos, algoritmos e mecanismos de QoS para as redes baseadas no protocolo IP, e como operam.

2.1. Protocolos e algoritmos de QoS

Descreve-se a seguir um panorama dos protocolos, algoritmos e mecanismos de QoS para as redes baseadas no protocolo IP e como operam.

Há mais de uma maneira de definir Qualidade de Serviço (QoS). Pode-se dizer que a QoS é o efeito coletivo do desempenho do serviço que determina o grau de satisfação de um usuário de um serviço. É caracterizado pelos aspectos combinados dos fatores de desempenho aplicáveis a todos os serviços, tais como serviço de desempenho da operabilidade, serviço de desempenho da acessibilidade, serviço de manter o desempenho da habilidade, serviço de desempenho da integridade e outros fatores específicos a cada serviço¹ (por exemplo, largura de banda, latência, *jitter*, perda do tráfego, etc).

Os requisitos de qualidade a serem adotados dependem da aplicação. Aplicações interativas em tempo real, como voz, têm requisitos mais restritivos.

Por exemplo, os critérios de qualidade de voz sobre uma rede de dados. Deve-se determinar os critérios adotados para o (a):

- método de codificação e compressão de voz,
- atraso e a variação do atraso (*jitter*) da rede,
- perda de pacotes,
- disponibilidade do serviço.

Um estudo² mostra que os principais fatores que influenciam a qualidade de voz são: i) a distorção do sinal de voz provocada pela codificação a baixas taxas e ii) a perda de pacotes. Além disso, o atraso prejudica a dinâmica da conversação e o *jitter* dá a sensação de truncamento da voz.

Os requisitos de disponibilidade do serviço dependem da disponibilidade dos equipamentos de acesso e da redundância da rede e sua capacidade de re-roteamento no caso de falha de um roteador. Pode-se exigir também que o tempo de re-roteamento das chamadas, em curso no roteador em falha, seja mínimo de modo a ser quase imperceptível para os usuários.

Algumas aplicações são mais exigentes quanto aos requisitos de QoS que outras, e por essa razão (entre outras) tem-se dois tipos básicos de QoS disponíveis³:

- Reserva de Recurso (serviços integrados) (*Resource Reservation (integrated services)*): os recursos da rede são alocados de acordo com o requisito de QoS da aplicação e submetido a política de gerenciamento de banda.

- Priorização (serviços diferenciados) (*Prioritization (differentiated services)*): o tráfego da rede é classificado e os recursos da rede alocados de acordo com os critérios da política de gerenciamento. Para habilitar a QoS, os elementos de rede dão tratamento preferencial para as classificações identificadas como tendo requisitos mais exigentes.

Esses tipos de QoS podem ser aplicados a “fluxos” individuais da aplicação ou a fluxos agregados, daí existirem duas outras formas de caracterizar os tipos de QoS:

- Por fluxo: um “fluxo” é definido como um fluxo de dados (*stream*) individual, unidirecional entre duas aplicações (transmissora e receptora), unicamente identificado por um conjunto de 5 parâmetros (protocolo de transporte, endereço de origem, número da porta de origem, endereço de destino, e número da porta de destino).

- Por agregado: um agregado é simplesmente dois ou mais fluxos. Tipicamente os fluxos têm algo em comum (por exemplo, um ou mais dos 5 parâmetros, um rótulo ou uma prioridade, ou talvez alguma informação de autenticação).

As aplicações, a topologia da rede e a política ditam qual tipo de QoS é o mais apropriado para os fluxos individuais ou agregados. Para acomodar as necessidades para esses diferentes tipos de QoS existem diferentes protocolos e algoritmos de QoS:

- *Resource ReSerVation Protocol* (RSVP): provê a sinalização que habilita a reserva de recursos da rede (também conhecido como Serviços Integrados). Embora tipicamente usado baseado em fluxo, o RSVP é também usado para reservar recursos por agregado.

- *Differentiated Services* (DiffServ): provê um modo grosseiro e simples para categorizar e priorizar o tráfego agregado da rede.

- *Multi Protocol Label Switching* (MPLS): provê gerência de banda para os agregados via controle de roteamento da rede de acordo com os rótulos inseridos nos cabeçalhos dos pacotes.

- *Subnet Bandwidth Management* (SBM): habilita a categorização e priorização na camada 2 (enlace) nas redes compartilhadas e comutadas IEEE 802.

Tabela 2.1– Mostra os diferentes protocolos e algoritmos de gerenciamento de banda, seus níveis de QoS e se são ativados pelos elementos de rede (Elem.) e/ou aplicações (Aplic.)³

QoS	Elem.	Aplic.	Descrição
maior	X		Recursos provisionados fim-a-fim (p. ex., rede privada, baixo tráfego)
	X	X	Serviço RSVP (Serviço Integrado Garantido) (provê realimentação à aplicação)
	X	X	Serviço RSVP de Carga (Serviço Integrado Controlado) (provê realimentação à aplicação)
	X	X	<i>Multi-Protocol Label Switching</i> (MPLS)
	X	X	Serviços Diferenciados (DiffServ) aplicados à entrada (<i>ingress</i>) do núcleo da rede apropriado ao nível de serviço de reserva RSVP para o fluxo. Priorização usando SBM aplicado na LAN também se enquadra nesta categoria
	X	X	DiffServ ou SBM aplicado por fluxo pela aplicação (origem)
	X		DiffServ aplicado na entrada do núcleo da rede
	X		<i>Fair queuing</i> aplicado pelos elementos de rede (p.ex., CFQ, WFQ, RED)
menor			Serviço de melhor esforço

A Tabela 2.1 compara os protocolos de QoS em termos de nível de QoS que provê e onde o serviço e controle são implementados – na aplicação e/ou na rede. Note que a tabela também considera os algoritmos de gerência de fila de roteadores tais como “Enfileiramento Imparcial” (*Fair Queuing* - FQ), “Descarte Precoce Aleatório” (*Random Early Drops* - RED). A gerência de fila – incluindo o número de filas e sua profundidade bem como os algoritmos usados para gerenciá-las – é muito importante para as implementações de QoS.

Os protocolos de QoS são diversos, mas não são mutuamente excludentes. Ao contrário, complementam-se. Há uma variedade de arquiteturas nas quais esses protocolos trabalham juntos para prover QoS fim-a-fim atravessando múltiplos provedores de serviços. A seguir uma descrição de cada protocolo em mais detalhes – mostrando seus mecanismos e funcionalidades essenciais – e na sequência as várias arquiteturas nas quais podem ser usados juntos para prover a QoS fim-a-fim.

2.1.1 RSVP – Resource Reservation Protocol

O RSVP é um protocolo de sinalização que provê mecanismos para reserva e controle para habilitar os serviços integrados⁴, que pretende prover algo o mais próximo para emulação de circuito em redes IP. O RSVP é o mais complexo de todas as tecnologias de QoS, para as aplicações (*hosts* – “computadores”) e para os elementos de rede (roteadores e comutadores (*switches*)). Provê o nível mais alto de granularidade de alocação de recursos.

O RSVP habilita os Serviços Integrados, no qual existem fundamentalmente dois tipos diferentes:

- Garantido: surge como o mais próximo possível para emular um circuito virtual dedicado. Provê limites rígidos (matematicamente prováveis) nos atrasos de fila fim-a-fim pela combinação de parâmetros de vários elementos de rede em um caminho (*path*), além de assegurar disponibilidade de banda de acordo com os parâmetros de especificação de tráfego Tspec⁵.
- Carga Controlada: isso é equivalente ao “serviço de melhor esforço sob condições sem carga”. Daí ser “superior que o melhor esforço”, mas não pode prover serviço estritamente limitado que o serviço garantido proporciona⁶.

Os serviços integrados usam o modelo *token-bucket* para caracterizar seus algoritmos de filas de entrada/saída. O *token-bucket* é projetado para suavizar o fluxo do tráfego de saída, mas diferentemente do modelo *leaky-bucket* (que também suaviza o fluxo de saída) considera rajada de dados – taxas de envio maiores que no *leaky-bucket* por pequenos períodos.

A Figura 2.1 mostra uma visão simplificada de como o protocolo funciona:

- Os transmissores de origem especificam o tráfego de saída em termos de limites superior e inferior de banda, atraso e jitter. O RSVP envia uma mensagem PATH da origem que contém essa informação da especificação de tráfego (Tspec) para o endereço de destino (recepção (ões) unicast ou multicast). Cada roteador habilitado RSVP ao longo da rota de downstream estabelece um “estado-caminho” (*path-state*) que inclui o endereço de origem prévio da mensagem PATH (isto é, o próximo *hop upstream* em direção a origem).

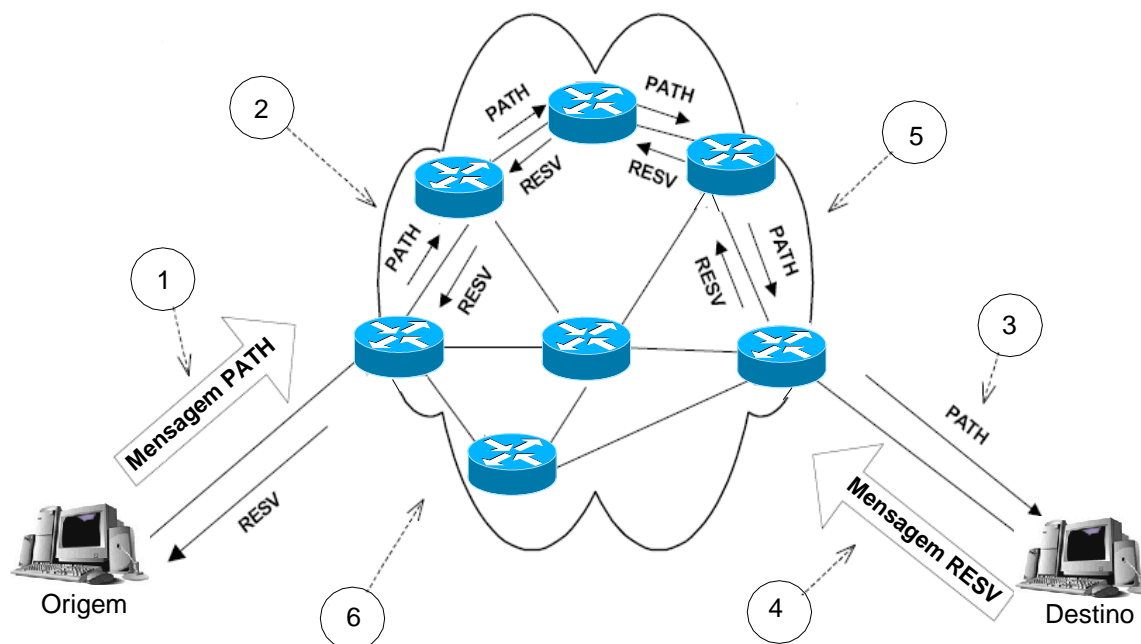
- Para fazer uma reserva de recurso os receptores no destino enviam uma mensagem RESV (requisição de reserva) *upstream*. Além do Tspec a mensagem RESV inclui uma especificação de requisição (Rspec) que indica o tipo de serviços integrados requerido – carga controlada ou garantida – e uma especificação de filtro (*filter spec*) que caracteriza os pacotes para os quais a reserva foi feita (por exemplo, o protocolo de transporte e o número da porta). Juntos o Rspec e *filter spec* representam

um descritor de fluxo que os roteadores usam para identificar cada reserva (conhecido como um “fluxo” ou uma “sessão”).

- Quando cada roteador RSVP ao longo do caminho *upstream* recebe a mensagem RESV usa o processo de controle de admissão para autenticar a requisição e alocar os recursos necessários. Se a requisição não puder ser satisfeita (devido a falta de recursos ou falha de autorização) o roteador retorna um erro de volta ao roteador de recepção. Se aceito, o roteador envia a RESV *upstream* para o próximo roteador.

- Quando o último roteador recebe a RESV e aceita a requisição envia uma mensagem de confirmação de volta a recepção (nota: o último roteador é o mais próximo em relação ao transmissor ou um ponto de junção de reserva para fluxos *multicast*).

- Há um processo de encerramento explícito (explicit tear-down process) para uma reserva quando o transmissor (origem) ou receptor (destino) finaliza uma sessão RSVP.



1. A mensagem PATH da origem contém a especificação de tráfego (TSpec) que perfila o fluxo de dados a ser enviado;
2. A mensagem PATH segue a rota de dados “downstream” ao(s) destino(s). Cada roteador habilitado com RSVP instala o estado PATH e encaminha a mensagem PATH ao próximo salto de roteador ao(s) destino(s);
3. O destino não pode fazer a reserva requisitada até receber a mensagem PATH (para mostrar o caminho “upstream” ao destino);
4. A mensagem RSVP contém a requisição de reserva de recursos, que contém a Tspec da origem, Rspec com o nível de QoS (controlado ou garantido), e “Filter Spec” (transporte e porta) para o “Flow-Descriptor”;
5. A mensagem RESV vai em sentido “upstream” seguindo a rota de origem provida na mensagem PATH. Cada roteador habilitado com RSVP faz a alocação e encaminha a mensagem PATH, ou a rejeita e retorna um erro de volta ao destino;
6. As mensagens PATH e RESV passam pelos roteadores não RSVP transparentemente, embora esses roteadores sejam os enlaces fracos na cadeia de reservas de recursos.

Figura 2.1 - Estabelecimento da reserva de recursos entre Origem e Destino. Mensagens RSVP “PATH” e “RESV” são usadas para estabelecer uma reserva de recursos entre a origem e destino. Há também uma finalização explícita das reservas (não mostrado)³

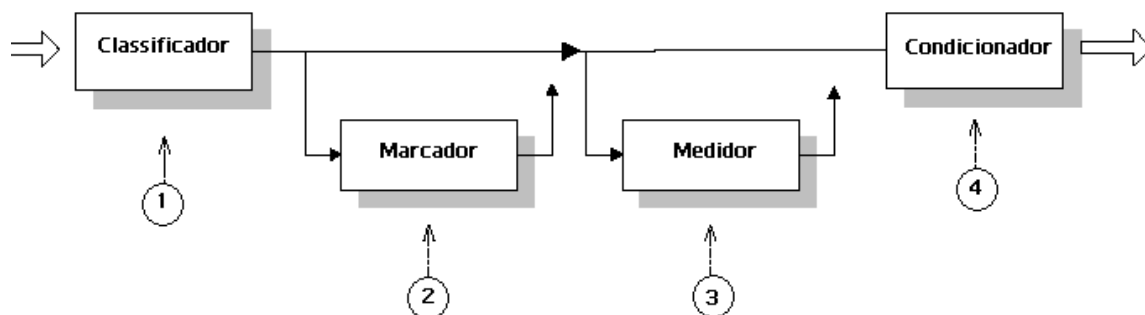
2.1.2 DiffServ – Priorização

Os serviços diferenciados⁷ provêm um método simples e grosseiro de classificar os serviços de várias aplicações. Embora outros padrões sejam possíveis, há dois definidos por comportamento (PHB – *per hop behaviors*) que efetivamente representam dois níveis de serviço (classes de tráfego):

- Encaminhamento Expresso (*Expedited Forwarding* (EF)): tem um único código (*codepoint*) (valor DiffServ). O EF minimiza o atraso e o *jitter* e provê o mais alto nível de qualidade de serviço agregado. Qualquer tráfego que exceda o perfil de tráfego (que é definido pela política local) é descartado⁸.

- Encaminhamento Garantido (*Assured Forwarding* (AF)): tem quatro classes e três precedências para cada classe (portanto, totalizando doze códigos (*codepoints*)). O excedente no tráfego AF não é entregue com a alta probabilidade como no tráfego “dentro do perfil”, o que significa que pode ser rebaixado na prioridade, mas não necessariamente descartado⁹.

A Figura 2.2 ilustra os principais blocos funcionais num equipamento, por exemplo, um roteador. Os PHBs são aplicados para condicionar o tráfego no ponto de entrada da rede (borda de entrada da rede) de acordo com o critério da política pré-determinada. O tráfego pode ser marcado neste ponto, e roteado de acordo com a marca, e então desmarcado na saída da rede (borda de saída da rede). Tipicamente os roteadores de borda – nos pontos de entrada e saída – aplicam as funções, mas os roteadores intermediários também podem aplicar.



1. Há dois tipos de classificador: - **Agregado de comportamento (BA)**: usa somente o valor de DSCP (Differentiated Services CodePoint); - **Campo Múltiplo (MF)**: usa outra informação do cabeçalho (como endereço de origem, protocolo, ou número da porta, etc.). Para BA, o DSCP é essencialmente um índice na tabela PHB. A política dita como o PHB é configurado para cada DSCP;
2. Marcas são usadas para: - adicionar DSCP quando não existe; - adicionar DSCP conforme mapeado da reserva RSVP; - mudar do mapa do DSCP para o TOS IP, ou o contrário; - mudar o DSCP como dita a política local;
3. A medição simplesmente acumula as estatísticas, mais comum em uma MIB SNMP;
4. O condicionamento essencialmente envolve a aplicação do PHB. Os comportamentos podem incluir marcas ou medidas, mas também seleção e tratamento de fila, política (modelagem de tráfego pela adição de atraso ou descarte de pacotes no sentido de acomodar ao perfil de tráfego descrito no SLA com o destino ou a origem (dependendo se é um ponto de saída ou entrada)). Pode também autenticar o tráfego pelo controle de admissão.

Figura 2.2 - Arquitetura para Serviços Diferenciados³

O DiffServ assume a existência de um acordo em nível de serviço (SLA – *Service Level Agreement*) entre as redes que compartilham uma borda. O SLA estabelece o critério da política, e define o perfil de tráfego. É esperado que o tráfego será policiado e suavizado nos pontos de saída de acordo com o SLA,

e qualquer tráfego “fora do perfil” (isto é, acima dos limites superiores da banda estabelecida no SLA) num ponto de entrada não tem garantia (ou pode incorrer custos extras, de acordo com o SLA). O critério da política usada pode incluir hora do dia, endereços de origem e destino, transporte, e/ou números de porta (isto é, identificadores (IDs) de aplicação). Basicamente, qualquer contexto ou conteúdo de tráfego (incluindo cabeçalhos e dados) pode ser usado para aplicar a política.

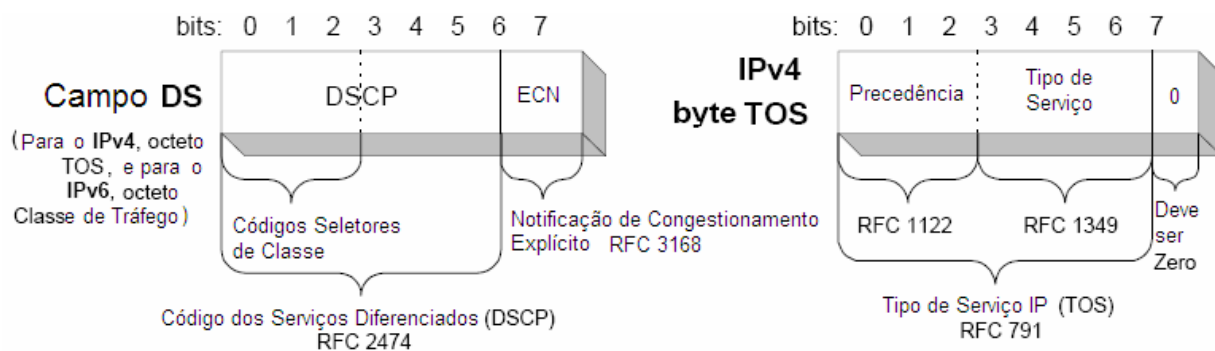


Figura 2.3 - Os Códigos dos Serviços Diferenciados (DSCP) redefinem o *byte* Tipo de Serviço (TOS) do IPv4. Os bits de precedência do IP são preservados no seletor de classe *codepoint* & PHBs, mas não os valores do TOS³

Quando aplicado, o mecanismo do protocolo que o serviço usa são padrões de bit no “*byte DS*”, que para o IPv4 é o octeto do Tipo de Serviço (TOS) e para o IPv6 é o octeto Classe de Tráfego. Como ilustrado na Figura 2.3, embora o campo DS use o byte TOS¹⁰, como descrito na RFC 791, não preserva os valores originais dos bits do TOS do IPv4 como definido na RFC 1349. Os bits da precedência IP (0-2) são preservados, entretanto. E embora seja possível assinalar qualquer PHB aos códigos (*codepoints*) nessa faixa, os PHBs *defaults* (requeridos) são equivalentes as descrições do serviço Precedência IP, como descrito em detalhes na RFC 1812.

A simplicidade do DiffServ para priorizar o tráfego mascara sua flexibilidade e potencialidade. Quando o DiffServ usa os parâmetros do RSVP ou tipos de aplicação específica para identificar e classificar o tráfego de taxa de bit constante (CBR), é possível estabelecer fluxos agregados bem definidos que podem ser direcionados para agregados fixos. Como resultado pode-se compartilhar os recursos eficientemente e até prover garantia de serviço.

As opções IntServ e DiffServ não são excludentes ou concorrentes. São soluções complementares e podem ser usadas em conjunto. Um exemplo de uso conjunto é a utilização do DiffServ nos roteadores do núcleo da rede (*backbone* ou *core*), pois é uma solução mais leve, e o IntServ/RSVP nas redes de acesso, uma vez que provê um bom controle com granularidade dos requisitos de QoS das aplicações.

2.1.3 MPLS

A Comutação por Rótulo Multiprotocolo (*Multi-Protocol Label Switching* (MPLS))¹¹ é similar ao DiffServ em alguns aspectos à medida em que, também, marca o tráfego nos limites de ingresso na rede, e desmarca nos pontos de saída. Mas diferentemente do DiffServ, que usa a marcação para determinar a prioridade dentro de um roteador, as marcas do MPLS (rótulos de 20 bits) são primariamente projetados para determinar o próximo hop do roteador. O MPLS não é controlado pela aplicação (não existem APIs MPLS), nem faz isso ter uma componente de protocolo no *host* final. Diferentemente de qualquer dos outros protocolos de QoS descritos neste capítulo, o MPLS reside

somente nos roteadores. E o MPLS é independente do protocolo (isto é “multi-protocolo”), tal que pode ser usado com protocolos de rede outro que o IP (como o IPX, ATM, PPP ou *Frame Relay*) ou bem como, diretamente sobre a camada de enlace¹².

O MPLS é mais um protocolo de “engenharia de tráfego” que um protocolo de QoS em si. O roteamento MPLS é usado para estabelecer “agregados de banda fixa” análogo aos circuitos virtuais ATM ou Frame Relay. A diferença é justificável, uma vez que o resultado final é uma melhoria no serviço e uma diversidade de serviço aumentada com mais flexibilidade, controle na gerência de rede baseada em política, tudo que os outros protocolos de QoS também provêem.

O MPLS simplifica o processo de roteamento (diminuindo o cabeçalho para aumentar o desempenho) enquanto também aumenta a flexibilidade com uma camada “intermediária” (entre as camadas 2 e 3). Aqui está uma seqüência do processo usado pelo roteadores com MPLS chamados Roteadores de Comutação por Rótulo (*Label Switching Router (LSR)*):

- No primeiro salto do roteador na rede MPLS, o roteador faz uma decisão de encaminhamento baseada no endereço de destino (ou qualquer outra informação no cabeçalho, como determinado pela política local) então determina a valor do rótulo apropriado – que identifica a Classe de Equivalência de Encaminhamento (FEC) – anexa o rótulo ao pacote e o encaminha para o próximo salto.

- No próximo salto, o roteador usa o valor do rótulo como um índice na tabela que especifica o próximo salto e um novo rótulo. O LSR anexa o novo rótulo, e então encaminha o pacote para o próximo salto.

A rota tomada por um pacote MPLS é chamado de Caminho Comutado por Rótulo (*Label Switched Path (LSP)*). A idéia atrás do MPLS é que usando um rótulo para determinar o próximo salto, os roteadores têm menos trabalho para fazer e podem agir mais como simples comutadores. O rótulo representa a rota e usando a política para assinalar o rótulo, os gerentes de rede têm mais controle para maior precisão na engenharia de tráfego.

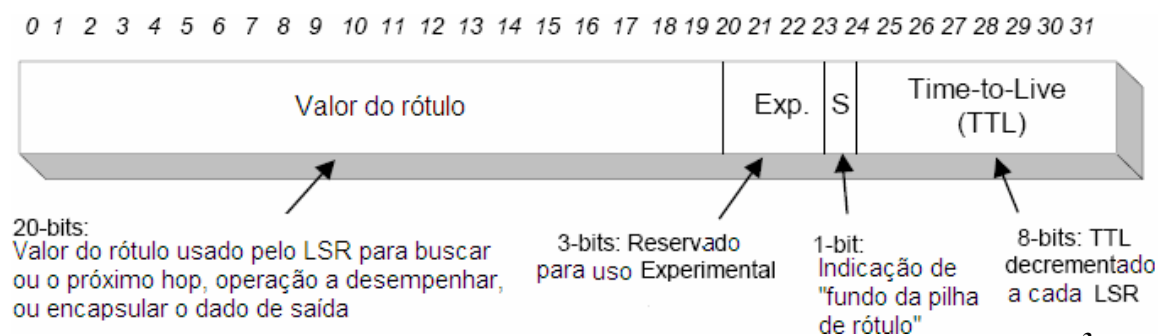


Figura 2.4 - Pilha do rótulo MPLS de entrada usada para “encapsular” o cabeçalho IP³

O processamento do rótulo é realmente um pouco mais complexo que o descrito anteriormente uma vez que os rótulos podem ser “empilhados” (para permitir “rotas dentro de rotas” MPLS) e pacotes rotulados tem um valor de tempo de vida (*time-to-live (TTL)*) como mostrado na Figura 2.4. O TTL funciona essencialmente do mesmo modo que no cabeçalho IP: cada roteador decrementa o valor de um até alcançar zero. A diferença é que quando o TTL MPLS atinge zero a ação é dependente do rótulo (diferentemente do IP, o datagrama pode não ser descartado e uma mensagem ICMP “*TTL Exceeded*” pode não ser gerada). De qualquer forma o processamento do rótulo é relativamente um aspecto simples do MPLS.

Um aspecto mais complexo do MPLS envolve a distribuição e gerência de rótulos entre os roteadores MPLS para garantir que concordam no significado dos diversos rótulos. O protocolo de distribuição de rótulo (*Label Distribution Protocol* (LDP))¹³ é especificamente projetado para esse fim, mas não é a única possibilidade. Pode-se utilizar, por exemplo, adaptações do RSVP¹⁴ e do BGP¹⁵. Existe ainda a proposta da utilização do PIM (*Protocol Independent Multicast*)¹⁶.

Embora os detalhes da infra-estrutura, tais como distribuição de rótulos, sejam importantes, são transparentes para a maioria dos gerentes de rede. O mais relevante do MPLS para a maioria dos gerentes de rede é o gerenciamento da política que determina qual rótulo usar e onde e não como os rótulos estão realmente distribuídos.

2.1.4 SBM – Subnet Bandwidth Management

As garantias de QoS são tão boas quanto seu elo mais fraco. A “cadeia” de QoS é fim-a-fim entre a origem e o destino, o que significa que todo o roteador ao longo da rota deve suportar a tecnologia de QoS em uso, como descrito previamente nos protocolos de QoS. A “cadeia” de QoS de cima para baixo é também uma consideração importante, em dois aspectos:

- Os *hosts* de origem e destino devem habilitar a QoS de tal forma que as aplicações possam habilitá-la explicitamente ou o sistema possa habilitá-la implicitamente no lugar das aplicações. Cada camada do modelo OSI da aplicação para baixo deve também suportar a QoS para garantir que as requisições de alta prioridade na origem e no destino recebam tratamento de alta prioridade na rede a qual o *host* pertence.

- A rede local (*Local Area Network* (LAN)) deve habilitar a QoS tal que os quadros de alta prioridade recebam tratamento de alta prioridade à medida que atravessam a rede (por exemplo, *host* a *host*, *host* a roteador e roteador a roteador). As LANs são de Camada 2 do modelo OSI, a camada de enlace.

Algumas tecnologias de camada 2 tem sempre a QoS habilitada, tal como o *Asynchronous Transfer Mode* (ATM). Entretanto, outras tecnologias mais comuns de LAN tal com o *Ethernet* não foram originalmente projetadas para serem capazes de prover QoS. Tanto como *broadcast* compartilhado ou mesmo em sua forma comutada, o *Ethernet* provê um serviço análogo ao padrão do “melhor esforço” do serviço IP, em que atrasos variáveis podem afetar aplicações em tempo real. Entretanto o IEEE¹⁷ tem ajustado o *Ethernet* e outras tecnologias de Camada 2 para permitir que a QoS seja suportada pelo provimento de mecanismos de protocolo para diferenciação de tráfego.

Os padrões IEEE 802.1p, 802.1Q e 802.1D definem como os comutadores *Ethernet* podem classificar os quadros no sentido de despachar a entrega de tráfego crítico quanto ao tempo.

O grupo de trabalho dos Serviços Integrados do IETF sobre Camadas de Enlace específicas (ISSLL) definiu um mapeamento entre os protocolos e serviços de camadas superiores de QoS com as tecnologias de Camada 2, como o *Ethernet*. Dentre outras coisas, isso resultou num desenvolvimento no “Gerente de banda de sub-rede” (SBM) para LANs 802 compartilhada ou comutada tal como o *Ethernet* (também FDDI, *Token Ring*, etc). O SBM¹⁸ é um protocolo de sinalização que permite a comunicação e coordenação entre os nós da rede e os comutadores¹⁹ e habilita o mapeamento para os protocolos de QoS de camadas mais altas²⁰.

O requisito fundamental na estrutura do SBM é que todo o tráfego deve passar através de pelo menos um switch habilitado em SBM. Como mostrado na Figura 2.5, exceto a aplicação habilitada em QoS e a Camada 2 (por exemplo, *Ethernet*), os componentes primários (lógicos) do sistema SBM são:

- Alocador de Banda (BA): mantém o estado sobre a alocação dos recursos na sub-rede e desempenha o controle de admissão de acordo com os recursos disponíveis e outros critérios da política definida pelo administrador.

- Módulo Requisitor (RM): Reside em toda estação e não em qualquer comutador. O RM mapeia entre os níveis de prioridade de Camada 2 e os parâmetros dos protocolos de QoS de camadas superiores de acordo com a política definida pelo administrador. Por exemplo, se usado com o RSVP poderia mapear baseado no tipo de QoS (garantido ou carga controlada) ou valores específicos de Tspec, Rspec ou Filter-spec.

Como ilustrado na Figura 2.5, a localização do BA determina o tipo de arquitetura SBM em uso: Centralizada ou Distribuída. Se há somente um ou mais que um BA por segmento de rede, somente um é “SBM designado” (DSBM) (Note que pode haver mais que um segmento por sub-rede). O DSBM pode ser estatisticamente configurado ou “eleito” dentre os outros BAs.

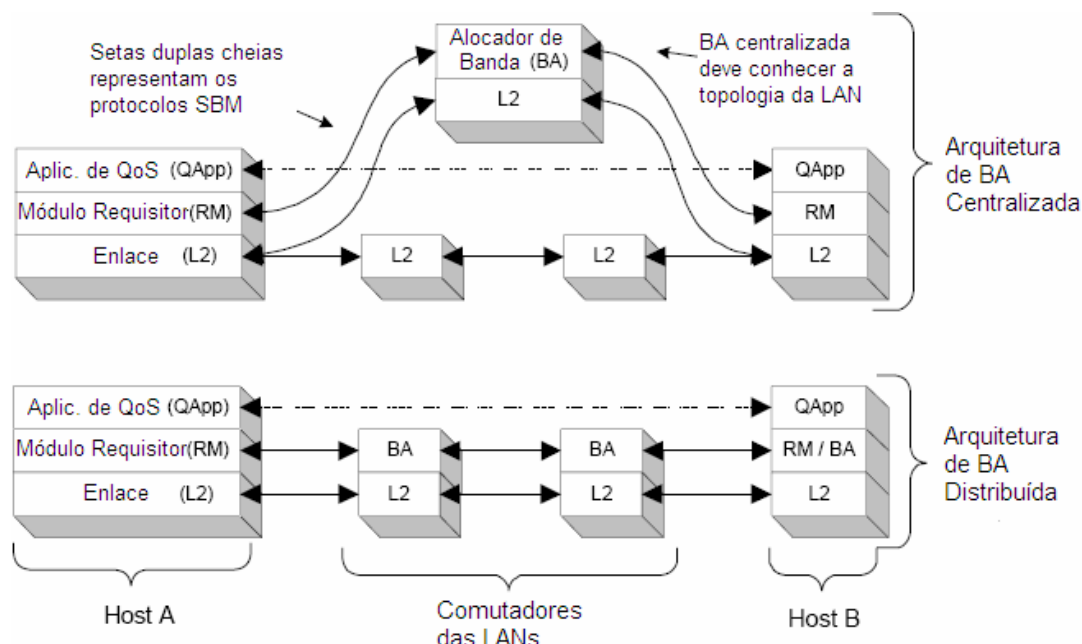


Figura 2.5 - Formas da arquitetura SBM: Alocador de Banda centralizado ou distribuído³

O protocolo SBM provê um mecanismo de sinalização RM a BA ou BA a BA para iniciar as reservas, interrogar um BA sobre a disponibilidade de recursos e mudar ou deletar as reservas. O protocolo SBM é também usado entre a aplicação com QoS habilitado (ou seu agente terceiro) e o RM, mas isso envolve o uso de uma API ao invés de um protocolo, tal que isso simplesmente compartilha as primitivas funcionais. Embora o protocolo SBM é projetado para ser independente do protocolo de QoS, é projetado para trabalhar com outros protocolos de QoS tal como o ST-II (*Stream Protocol, Version 2*), por exemplo, as especificações usam o RSVP em seus exemplos, como se queira. Aqui está um simples sumário do procedimento de controle de admissão do protocolo SBM:

0. O DSBM inicia: pega os limites do recurso (estatisticamente configurado)
1. O Cliente DSBM (qualquer *host* ou roteador capacitado em RSVP) procura o DSBM no segmento anexo a cada interface (feito por monitoramento do “AllSBMAddress”, o endereço IP multicast reservado 224.0.0.17)

2. Quando envia uma mensagem PATH, um cliente DSBM o envia para o “DSBMLogicalAddress” (endereço IP multicast reservado, 224.0.0.16) ao invés do endereço RSVP de destino

3. Recebendo uma mensagem PATH, um DSBM estabelece o estado PATH no comutador, armazena os endereços das camadas 2 e 3 (L2/L3) do qual veio, e o coloca nos próprios endereços L2/L3 na mensagem. O DSBM então encaminha a mensagem PATH ao próximo *hop* (que pode ser outro DSBM no próximo segmento de rede).

4. Quando envia uma mensagem RSVP RESV, um *host* o envia para o primeiro *hop* (como sempre), que seria o DSBM(s) nesse caso (tomado da mensagem PATH).

5. O DSBM avalia a requisição e se tem recursos suficientes disponíveis, encaminha ao próximo *hop* (caso contrário retorna um erro).

Essa sequência se assemelha muito ao procedimento RSVP em um roteador, entretanto foram omitidos alguns detalhes significativos por questão de simplificação. Não será tratado em mais detalhes aqui, mas se quer mencionar o objeto TCLASS o qual ou um transmissor ou qualquer DSBM pode adicionar a uma mensagem RSVP PATH ou RESV. Contém uma configuração de prioridade 802.1p preferida e permite prevalecer uma configuração *default*, embora qualquer DSBM possa mudar o valor depois de recebê-lo. Os roteadores devem salvar o TCLASS no estado PATH ou RESV, e removê-lo da mensagem para evitar encaminhá-lo nas interfaces de saída, mas então devem colocar de volta nas mensagens de entrada.

O IEEE 802.1p usa um valor e 3 bits (parte de um cabeçalho 802.1Q) no qual pode representar um valor de prioridade com 8 níveis. São mutáveis e os limites especificados são somente objetivos, mas os mapeamentos do serviço ao valor *default* definidos no mapeamento SBM¹⁹ são:

- 0 Prioridade 0: *Default*, assumido o serviço de melhor esforço
- 1 Prioridade 1: Reservado. “menos que” o serviço de melhor esforço
- 2 Prioridade 2-3: Reservado
- 3 Prioridade 4: Sensível ao atraso, sem limite
- 4 Prioridade 5: Sensível ao atraso, limite de 100 ms
- 5 Prioridade 6: Sensível ao atraso, limite de 10 ms
- 6 Prioridade 7: Controle da rede

Da mesma forma que o DiffServ, a simplicidade dos valores da priorização esconde a complexidade que é possível. Como descrito a seguir na seção de arquiteturas de QoS, a flexibilidade que o mapeamento provê permite uma grande variedade de possibilidades capaz de suportar uma grande faixa de garantias de QoS e granularidade.

2.2. Arquiteturas de QoS

No mundo real esses protocolos de QoS não são utilizados de forma independente para se obter a QoS fim-a-fim e de fato são projetados para uso com outras tecnologias de QoS para prover QoS de cima para baixo e fim-a-fim entre origens e destinos.

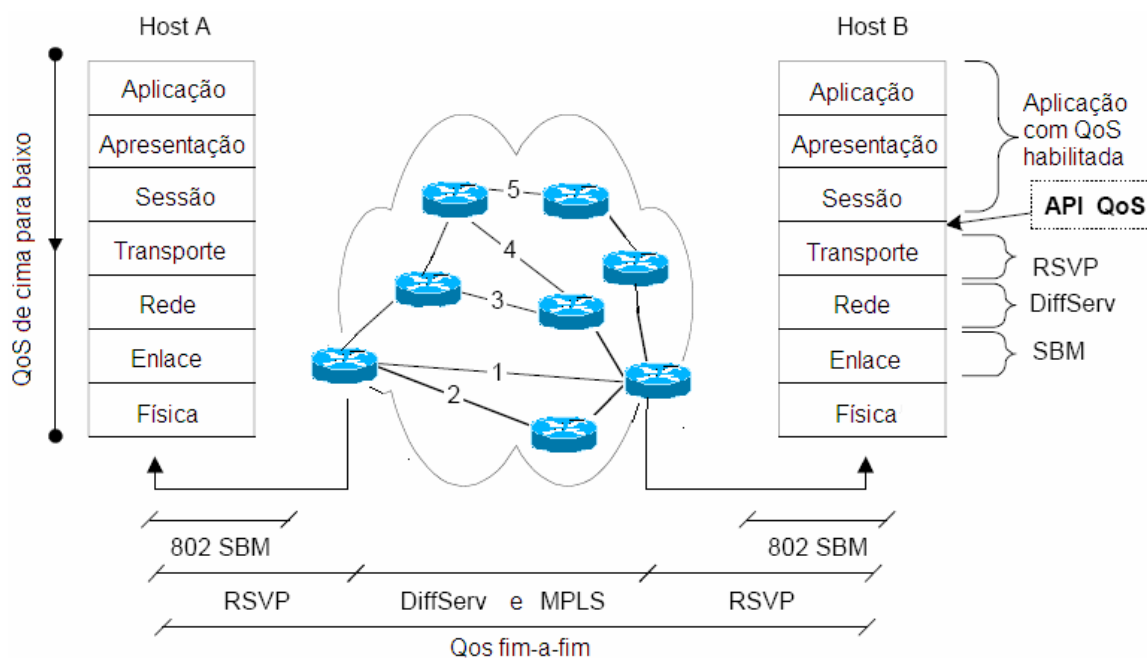


Figura 2.6 - No mundo real “fim-a-fim” e “de cima para baixo” significa lidar com a heterogeneidade e incluir tecnologias de QoS que foram feitas para se complementarem de modo fim-a-fim³

Algumas das especificações para “ligar” esses pedaços de QoS não são padronizadas ainda, mas está se encaminhando para definir as várias arquiteturas que são possíveis – e necessárias – para prover a QoS fim-a-fim global. Nessa sessão descreve-se algumas dessas arquiteturas mostrando as questões e descrevendo como tratá-las. A Figura 2.6 mostra uma visão geral de como os pedaços se encaixam, e a Figura 2.7 provê outra visão mais detalhada. Em ambas ilustrações descreve-se como os vários protocolos trabalham juntos para prover a QoS fim-a-fim e de cima para baixo.

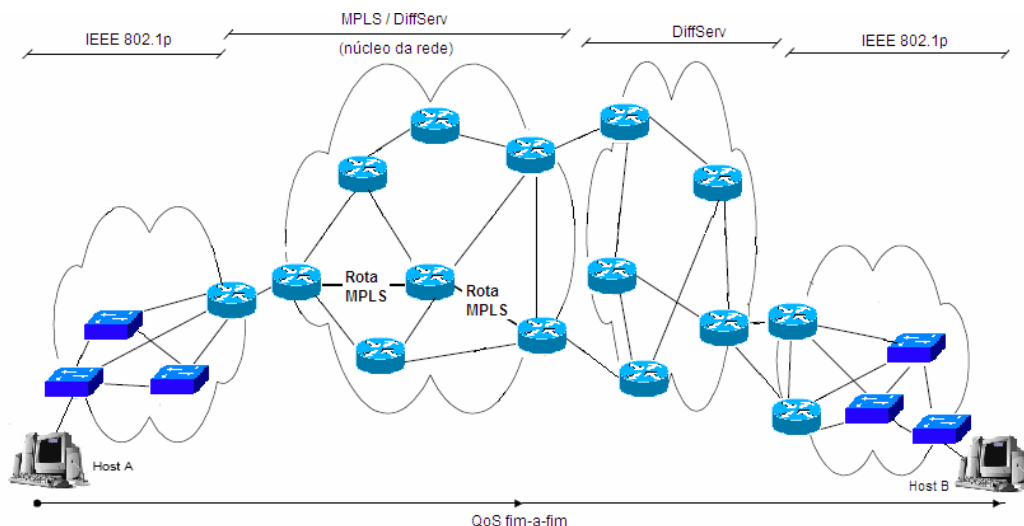


Figura 2.7 - Possíveis utilizações das tecnologias de QoS (baseada em [3])

A Figura 2.7 mostra uma fotografia completa de como as tecnologias de QoS podem trabalhar juntas para prover a QoS fim-a-fim.

2.2.1 MPLS para o DiffServ

Como o DiffServ e o MPLS são similares no aspecto qualitativo da habilitação de QoS (isto é, classificação) o mapeamento do tráfego DiffServ nos “tubos” MPLS (LSPs) é relativamente simples.

Para suportar o modelo “por *hop*” do DiffServ uma operadora de rede MPLS necessita alocar um conjunto de recursos de encaminhamento de agregado para cada classe de encaminhamento DiffServ em cada roteador MPLS (LSR) e designar rótulos. Adicionalmente um LSR pode necessitar associar o pacote com uma precedência de descarte específica (que poderia estar colocado no campo “experimental” (Exp) do cabeçalho MPLS)²¹.

2.3. QoS para o *Multicast*

O *Multicast* IP é um requisito, não uma opção, se a Internet vier a caminhar para uma escala ainda maior. É uma evolução natural que a QoS suporte “*broadcasts*” de áudio e vídeo de “um para muitos” sobre a Internet, uma vez que o suporte para o *multicast* sempre é um requisito no projeto de protocolos de QoS. Embora previsões sempre sejam feitas nos projetos iniciais dos protocolos de QoS, o suporte pleno de QoS para *multicast* ainda não está padronizado ou totalmente compreendido.

2.3.1 Suporte DiffServ para *Multicast*

A relativa simplicidade dos Serviços Diferenciados os tornam mais adequados (facilidade e mais escalável) para o suporte ao *multicast*, mas há desafios envolvidos. Especificamente a estimativa de tráfego é um desafio devido à natureza dinâmica dos membros do grupo e ao fato de que embora uma árvore de distribuição *multicast* possa ter um único ponto de entrada terá frequentemente múltiplos pontos de saída (que podem mudar à medida que os membros mudem). Trabalhos estão sendo desenvolvidos nessa área²².

2.3.2 Suporte MPLS para *Multicast*

O suporte do MPLS para o *Multicast* é um assunto de intenso esforço de desenvolvimento e surgiu um padrão fornecendo um panorama do *multicast* IP em ambiente MPLS²³. Existe um quantidade relevante de *drafts* em suporte do *Multicast* IP em redes MPLS e engenharia de tráfego *multicast*²⁴.

2.4. QoS habilitado por política

A QoS provê a diferenciação do tráfego e dos serviços providos por tal tráfego. Isso significa que uma parte do tráfego tem o serviço melhorado e (inevitavelmente) outra parte tem o serviço degradado. Naturalmente deseja-se o serviço melhorado para a maior parte do tráfego, mas não se pode ter isso (ou pelo menos gratuitamente). Assim a QoS tem a necessidade de uma política (a decisão sobre quais fluxos são designados para qual serviço) e a política cria uma necessidade de autenticação do usuário (para verificar a identificação do usuário).

Dentre os protocolos de QoS somente o RSVP tem uma provisão explícita para suporte a política. Com os outros protocolos de QoS a política é aplicada na borda da rede que pode estar localizada na

camada de transição da implementação da pilha TCP/IP (por exemplo, a medida que o pacote IP de camada 3 é passado para a camada 2) baseada nas características identificáveis do pacote²⁵.

2.5. Mecanismos de controle de congestionamento

Durante os períodos de congestionamento na transmissão, os pacotes chegam mais rápido do que a interface de saída pode transmitir. Ao usar mecanismos de gerenciamento de congestionamento, os pacotes acumulados em alguma interface podem ser enfileirados, ao invés de descartados, e transmitidos após a interface estar livre.

O escalonamento na transmissão de pacotes nos roteadores permite uma diferenciação no tratamento dos pacotes de tipos de tráfego distintos. O gerenciamento de congestionamento acarreta a criação de filas, a classificação de pacotes e o escalonamento dos pacotes para a transmissão²⁶.

2.5.1 First in First out (FIFO - “Atendimento por ordem de chegada”)

Também conhecido como *first-come first-served* (FCFS – Primeiro a chegar, primeiro a ser servido), o FIFO não traz o conceito de classes de tráfego. Tudo o que ele faz é enviar os pacotes para a interface de saída na ordem de chegada, ou seja, o primeiro que chega é o primeiro a sair.

O FIFO é o método mais rápido de enfileiramento e pode ser o mais efetivo para enlaces de banda larga com pequeno retardo e congestionamento mínimo.

2.5.2 Priority Queuing (PQ - “Enfileiramento por Prioridade”)

Este mecanismo classifica os pacotes conforme um conjunto de regras pré-definidas e envia o pacote para a fila correspondente. O *Priority Queuing* (PQ) dá prioridade absoluta para as filas de maior prioridade, ou seja, uma fila de menor prioridade somente envia tráfego após as filas de maior prioridade estarem vazias. A Figura 2.8 ilustra esse processo:

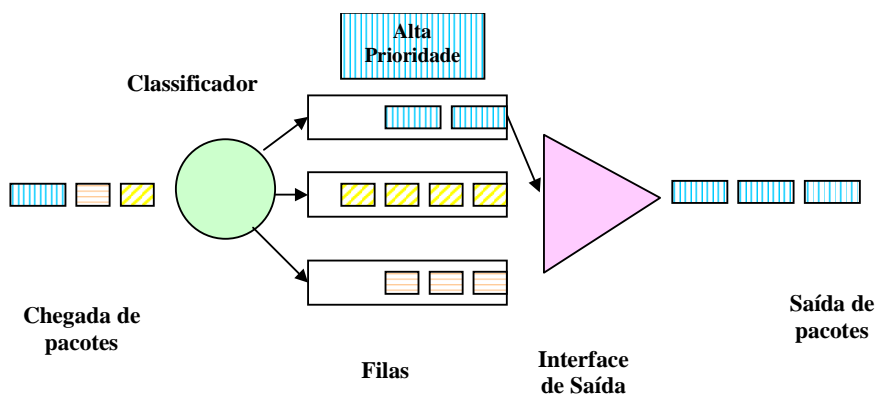


Figura 2.8 - *Priority Queuing* (PQ)

O tamanho máximo de uma fila é limitado: quando a fila excede o limite de tamanho definido, todos os pacotes adicionais são descartados.

Esse mecanismo possui a vantagem de garantir a qualidade de serviço para o tráfego da fila de maior prioridade; em contrapartida, os tráfegos de menor prioridade podem ficar totalmente bloqueados.

2.5.3 Custom Queuing (CQ – “Enfileiramento sob medida”)

O *Custom Queuing* (CQ) permite ao administrador do sistema configurar o número de filas, o limite do tamanho da fila e a porcentagem da banda disponível para cada fila quando esta é servida. O CQ permite ao administrador dividir os recursos da rede entre diversas aplicações com largura de banda e retardo mínimos específicos.

De forma a garantir a divisão da banda entre as filas, o CQ especifica o número de pacotes que devem ser servidos para cada classe de tráfego. As filas são servidas periodicamente através do método *round-robin*, ou seja, o roteador permite cada fila enviar uma certa quantidade de *bytes* antes de mudar para a próxima. Se uma fila está vazia então o roteador passa para a próxima que contém pacotes para enviar.

O roteador só pode enviar pacotes inteiros, sendo assim é necessário determinar quantos pacotes correspondem a quantidade de *bytes* reservados para transmissão em uma fila. Entretanto o tamanho dos pacotes dos protocolos não são iguais. Assim torna-se necessário a elaboração de um mecanismo um pouco mais complexo para determinar quantos pacotes cada fila transmitirá durante o seu ciclo. O procedimento será o seguinte:

Primeiro, determina-se para cada fila, a porcentagem da banda alocada pelo tamanho do pacote. Por exemplo, sejam 3 filas e as porcentagens alocadas iguais a 50% para a fila A, 30% para a B e 20% para a C e o tamanho dos pacotes conforme mostrado na Figura 2.9.

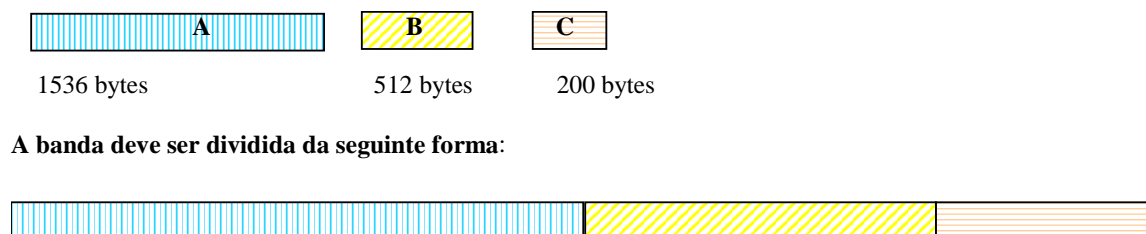


Figura 2.9 - Divisão de Largura de Banda (CQ)

Agora calcula-se quantos pacotes A podem ser colocados dentro da largura de banda reservada para A, quantos pacotes do protocolo B e o número de pacotes do protocolo C.

Supondo que a largura de banda seja igual a 512kBytes/s ou 524.288 Bytes/s, tem-se:

Para o protocolo A: $(524.288 \times 50\%) / 1536 = 171$ pacotes/s

Para o protocolo B: $(524.288 \times 30\%) / 512 = 307$ pacotes/s

Para o protocolo C: $(524.288 \times 20\%) / 200 = 524$ pacotes/s

Finalmente, divide-se o número de pacotes encontrados para cada um dos protocolos pelo menor valor encontrado, ou algum outro mais conveniente. Esse procedimento tem por objetivo minimizar o retardo, impedindo que uma fila tenha que esperar a outra transmitir centenas de pacotes de uma vez. Em cada ciclo tem-se que:

A Fila A transmite 1 pacote ($171 / 171$)

A Fila B transmite 2 pacotes ($307 / 171 \cong 2$)

A Fila C transmite 3 pacotes ($524 / 171 \cong 3$)

Observe que apesar da fila A transmitir apenas 1 pacote por vez, o tamanho dos pacotes são maiores que os outros, sendo assim ela transmitirá 1536 Bytes por ciclo, a fila B transmitirá 1024 Bytes e a fila C transmitirá 600 Bytes por ciclo. Calculando a porcentagem da banda reservada verifica-se que A utiliza 48,6%, B utiliza 32,4% e C utiliza 19%, valores muito próximos aos desejados.

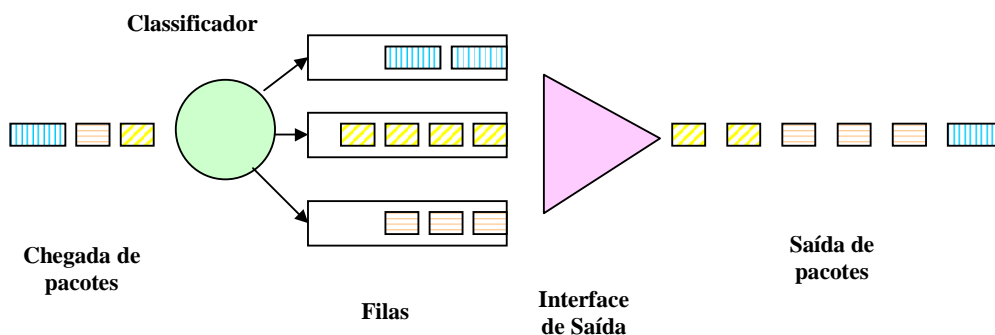


Figura 2.10 - *Custom Queuing* (CQ)

O CQ oferece a garantia da banda passante para um tráfego específico em um determinado ponto de congestionamento, entretanto a sua configuração é estática, ou seja, ele não se adapta às mudanças das condições da rede ou mudanças de tráfego.

2.5.4 *Weighted Fair Queuing* (WFQ – “Enfileiramento Imparcial Ponderado”)

O WFQ é um método de escalonamento automático que oferece uma alocação justa de banda para todo o tráfego da rede. O WFQ utiliza pesos para identificar e classificar os tráfegos e determinar quanto de banda um tráfego possui em relação a outros tipos de tráfegos.

Desta forma, o WFQ resolve as limitações do mecanismo FIFO. Impede que uma rajada de um tipo de tráfego monopolize toda a banda disponível, pois igualmente ao CQ (*Custom Queuing*), reserva um pequeno período de tempo, proporcional ao peso atribuído aquele tipo de tráfego, para cada fila transmitir seus pacotes.

O WFQ possui a vantagem de não bloquear totalmente um tráfego conforme pode acontecer com o *Priority Queuing*, pois todos os tipos de tráfego possuem um mínimo de banda garantido. Além disso, o WFQ não é configurado estaticamente como o CQ, automaticamente se adapta às mudanças das condições do tráfego da rede.

O WFQ utiliza o campo *IP Precedence* (3 bits) do cabeçalho IP para determinar os pesos para cada fluxo. Este é o único número utilizado para determinar a quantidade de *bytes* que cada fila irá transmitir. Para determinar a alocação de banda para cada um dos fluxos basta dividir o peso do fluxo pelo total de *bytes* somando todos os fluxos. Por exemplo, se existem oito fluxos no sistema, cada um com um nível de precedência distinto, então cada fluxo terá peso igual ao nível de precedência +1 e a soma total será igual a:

$$1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 = 36$$

Assim, o tráfego com nível de precedência 0 (zero) obterá 1/36 da banda e o tráfego com precedência 7 terá 8/36 da banda. Contudo, se em algum momento houver 7 fluxos com nível de precedência 2 e 1 fluxo de cada outro nível, então o total será:

$$1 + 2 + 3(7) + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 = 54$$

Assim o tráfego com precedência 0 (zero) terá 1/54 da banda, cada fluxo de precedência 2 terá 3/54 da banda e assim por diante.

Como o roteador transmite um pacote inteiro (e não apenas alguns *bytes* dele), é necessário um mecanismo para fazer o escalonamento de pacotes, igualmente como é feito no CQ. Esse mecanismo conta o número de *bytes* virtualmente enviados dos pacotes para cada fila.

A figura a seguir ilustra como este mecanismo é realizado. Suponha a existência de 3 tipos de tráfego, o amarelo (▨) com peso 1, o azul (▤) com peso 2 e o laranja (▥) com peso 3 e suponha ainda, que em um dado momento, cada uma das filas deseje transmitir um pacote.

O contador de *bytes* irá transmitir (virtualmente) 1 *byte* do pacote amarelo, 2 *bytes* do azul e 3 do laranja em cada ciclo, depois a contagem recomeça novamente. Quando o último *byte* do pacote for virtualmente transmitido, então o pacote inteiro é enviado à interface de saída do roteador e assim transmitido.

No exemplo da Figura 2.11 vê-se que o pacote laranja será transmitido primeiro, em seguida o amarelo e por último o azul. Observe que isso tudo é feito automaticamente sem a necessidade de uma prévia configuração conforme é feito no CQ.

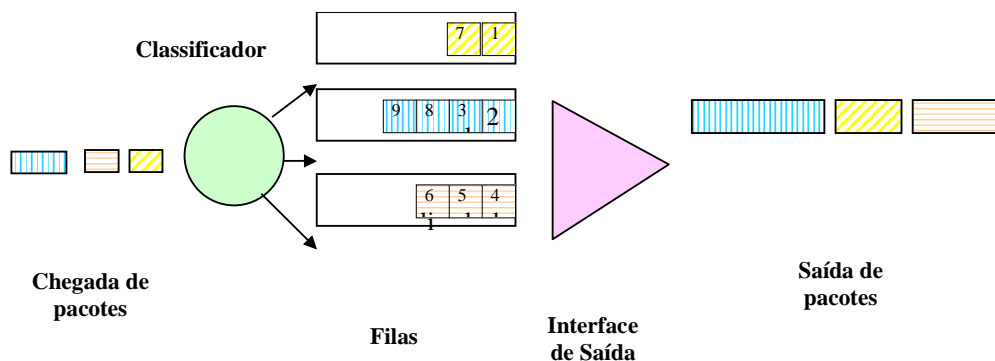


Figura 2.11 - *Weighted Fair Queuing*

O RSVP utiliza o WFQ para alocar espaço no *buffer* e escalonar pacotes, garantindo dessa forma a reserva dos recursos para os fluxos.

Tunelamento e criptografia dificultam o uso do WFQ, visto que esses procedimentos modificam o conteúdo dos pacotes necessário para a sua classificação. Por exemplo, o protocolo IPSec (Protocolo de Segurança para o IP)^{27,28,29,30} operando em modo túnel criptografa o pacote IP (cabeçalho e *payload*) e adiciona um novo cabeçalho IP aos pacotes (com endereços IP origem e destino dos *gateways* IPSec). Desta forma o WFQ irá classificar todos os pacotes como se fossem do mesmo fluxo, invalidando o mecanismo.

2.5.5 Class-Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ – “Enfileiramento Imparcial Ponderado baseado em Classes”)

O CBWFQ é uma extensão do WFQ onde são incluídas algumas funcionalidades do CQ. Ou seja, ao invés de usar o *IP Precedence* para selecionar os pacotes, como ocorre no WFQ, o CBWFQ usa um classificador de pacotes análogo ao CQ.

Uma vez a classe tenha sido definida, pode-se atribuir a esta classe a largura de banda mínima garantida, peso e tamanho máximo do pacote. Durante períodos de congestionamento o CBWFQ garante a largura de banda mínima para aquela classe.

O CBWFQ permite a especificação da quantidade exata da largura de banda a ser alocada para uma classe de tráfego específica. Observe que pode ser configurado mais do que 8 classes (número máximo no WFQ). Nos roteadores da Cisco, por exemplo, podem ser configuradas até 64 classes. Entretanto, diferentemente do CQ, cada pacote recebe um peso atribuído àquela classe e o escalonamento dos pacotes é feito da mesma forma que o WFQ.

2.6. Mecanismos de prevenção de Congestionamento na rede

As técnicas de prevenção de congestionamento monitoram o tráfego da rede visando encontrar os gargalos da rede e se antecipar para evitar os congestionamentos.

Foi visto anteriormente que os mecanismos de escalonamento de pacotes operam para controlar o congestionamento após a sua ocorrência, escalonando quais pacotes serão transmitidos primeiro de modo a minimizar o retardo de tráfegos prioritários. Os mecanismos de prevenção atuam no descarte de pacotes na tentativa de evitar o congestionamento nas filas dos roteadores.

2.6.1 Tail Drop (“Descarte Caudatório”)

Este é o mecanismo mais simples de descarte de pacotes e não faz diferenciação de tráfego. Enquanto o *buffer* está cheio, o *Tail Drop* simplesmente descarta todos os pacotes que chegam durante esse instante.

2.6.2 Random Early Detection (RED – “Detecção Precoce Aleatória”)

Este mecanismo descarta pacotes aleatoriamente durante os períodos de congestionamento e sinaliza ao TCP para reduzir o fluxo da fonte geradora de tráfego. O RED tenta controlar o tamanho médio da fila³¹.

O RED evita os problemas de globalização que ocorrem quando o *Tail Drop* é usado como mecanismo de prevenção de congestionamento. A sincronização global se manifesta quando múltiplos *hosts* TCP reduzem as taxas de transmissão deles em resposta ao descarte de pacotes, então aumentam suas taxas de transmissão novamente quando o congestionamento reduz.

Estatisticamente, o RED descarta mais pacotes dos grandes usuários do que dos pequenos. Isso porque as fontes que geram mais tráfego são mais prováveis de terem o fluxo reduzido pelo TCP do que as fontes que geram pouco tráfego.

2.6.3 Weighted Random Early Detection (WRED - “Detecção Precoce Aleatória Ponderada”)

O WRED combina as funcionalidades do RED com o campo *IP precedence* de modo a prover um tratamento diferenciado para pacotes de alta prioridade. O WRED pode descartar seletivamente o tráfego de baixa prioridade quando a interface fica congestionada e oferecer características de desempenho diferenciado para as classes de serviço distintas. Ou seja, o tráfego de baixa prioridade possui uma taxa de descarte maior (Figura 2.12).

Para as interfaces configuradas para usar o RSVP, o WRED escolhe pacotes de outros fluxos para descartar antes dos fluxos do RSVP.

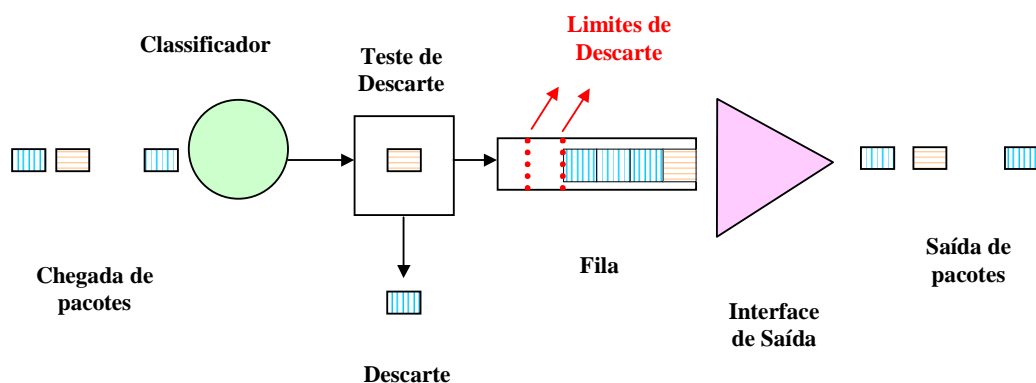


Figura 2.12 - WRED

O descarte de pacotes começa quando a fila atinge um limite mínimo estabelecido para aquela classe de pacote com a probabilidade de descarte aumentando na proporção que a fila enche até um limite máximo estabelecido. A Figura 2.13 demonstra como isso funciona.

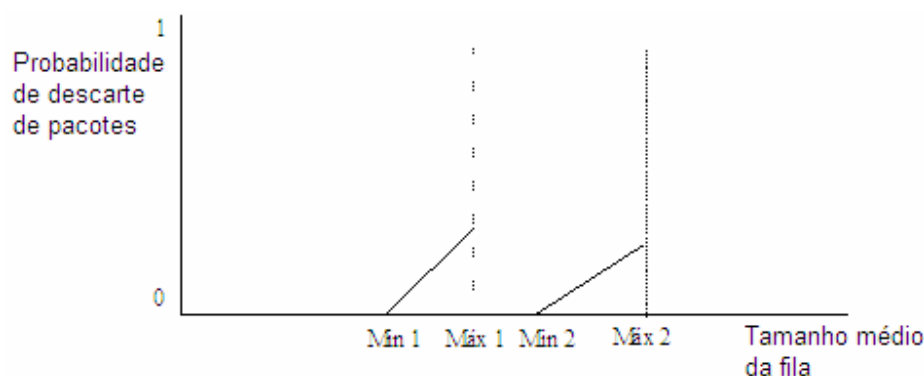


Figura 2.13 - Limites de descarte para dois níveis de serviço: padrão (1) e premium (2), por exemplo.

Os valores mínimos devem ser definidos de maneira que o WRED não descarte muitos pacotes desnecessariamente. E a diferença entre o valor máximo e o mínimo deve ser o suficiente para evitar a sincronização global.

Referências Bibliográficas

- ¹ ITU-T Recommendation Q.1741.3 (09-2003): “IMT-2000 references to release 5 of GSM evolved UMTS core network”.
- ² P. Coverdale; “Voice over IP voice quality”, ITU-T, SG 15, Delayed Contribution D.041, Feb., 1998.
- ³ “QoS protocol & architectures”, white paper, Jul. 1999, www.qosforum.com
- ⁴ IETF “Integrated Services” working group, www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html.
- ⁵ S.Shenker, C. Partridge, R.Guerin, “Specification of Guaranteed Quality of Service”, RFC 2212, Sept 1997.
- ⁶ J.Wroclawski, “Specification of the Controlled-Load Network Element Service”, RFC 2211, Sept 1997.
- ⁷ S. Blake et al. , “An Architecture for Differentiated Services”, RFC 2475, December 1998.
- ⁸ V. Jacobson, K. Nichols, K.Poduri, “An Expedited Forwarding PHB”, RFC 2598, June 1999.
- ⁹ J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, J. Wroclawski, “Assured Forwarding PHB Group”, RFC 2597, June 1999.
- ¹⁰ K. Nichols, S.Blake, F. Baker, D. Black, “Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers” , RFC 2474, December 1998.
- ¹¹ IETF “Multiprotocol Label Switching” working group, www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html
- ¹² E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, “Multiprotocol Label Switching Architecture”, RFC 3031, January 2001.
- ¹³ L. Andersson, P. Doolan, N. Feldman, A. Fredette, B. Thomas, “LDP Specification”, RFC 3036, January 2001.
- ¹⁴ D. Awduche et al, “RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels”, RFC 3209, December 2001.
- ¹⁵ Y. Rekhter, E. Rosen, “Carrying Label Information in BGP-4”, RFC 3107, May 2001.
- ¹⁶ IETF “Protocol Independent Multicast” working group, www.ietf.org/html.charters/pim-charter.html.
- ¹⁷ The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), www.ieee.org/portal/index.jsp.
- ¹⁸ R. Yavatkar et al., “SBM (Subnet Bandwidth Manager): A Protocol for RSVP-based Admission Control over IEEE 802-style networks”, RFC 2814, May 2000.
- ¹⁹ A. Ghanwani et al., “A Framework for Integrated Services Over Shared and Switched IEEE 802 LAN Technologies”, RFC 2816, May 2000.
- ²⁰ M. Seaman et al., “Integrated Service Mappings on IEEE 802 Networks”, RFC 2815, May 2000.
- ²¹ F. Le Faucheur et al., “Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services”, RFC 3270, May 2002.
- ²² IETF RFC 3754 (04/2004), “IP Multicast in Differentiated Services (DS) Networks”.
- ²³ D. Ooms et al., “Overview of IP Multicast in a Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Environment”, RFC 3353, August 2002.
- ²⁴ Ali Boudani et al., “An Effective Solution for Multicast Scalability: The MPLS Multicast Tree (MMT)”, June 2003, <draft-boudani-mpls-multicast-tree-04.txt>.
- ²⁵ M. A. Siqueira, “Uma Arquitetura de Políticas para Gerência de Redes MPLS”, dissertação de mestrado, FEEC/UNICAMP, 2002.
- ²⁶ J. Martins, “Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos”, set. 1999.
- ²⁷ IETF RFC 2406 (11/1998), “IP Encapsulation Security Payload (ESP)”.
- ²⁸ IETF RFC 2402 (11/1998), “IP Authentication Header”.
- ²⁹ IETF RFC 2409 (11/1998), “The Internet Key Exchange (IKE)”.
- ³⁰ IETF RFC 1825 (08/1995), “Security Architecture for the Internet Protocol”.
- ³¹ A. S. Tanenbaum, “Computer Networks”, Prentice Hall, 1995.

Capítulo 3

Métodos de Avaliação da qualidade de voz, Fatores Relevantes, Qualidade de Serviço fim-a-fim e Qualidade da Implementação

Este capítulo apresenta os métodos utilizados para a avaliação da qualidade de voz, bem como os fatores relevantes que a afetam, tais como atraso, jitter, perda e codificação a baixas taxas. Apresenta, também, alguns aspectos da qualidade de serviço fim-a-fim e da qualidade da implementação.

3.1 Métodos de Avaliação da qualidade de voz

A transmissão e o armazenamento digital de sinais de áudio vêm sendo, cada vez mais, baseados em algoritmos para compressão de dados, os quais são adaptados a diversas propriedades do sistema auditivo humano, destacando-se os efeitos de mascaramento. Tais algoritmos não buscam necessariamente a minimização de distorções, e sim sua manipulação adequada, de maneira que elas sejam minimamente percebidas pelo usuário do sistema. A palavra “áudio” é usada para designar sinais de música e voz em banda larga (20 Hz a 20 kHz). O termo “voz”, por sua vez, é usado para designar sinais de voz na faixa de telefonia (300 a 3400 Hz). A avaliação da qualidade de áudio é uma das principais etapas no desenvolvimento de um sistema digital de comunicação. As medições subjetivas de qualidade são excessivamente dispendiosas, tanto em termos de custos quanto de tempo consumido. Por esse motivo, é natural que se busque sua substituição por medidas objetivas capazes de modelar satisfatoriamente o comportamento dos ouvintes em avaliações subjetivas¹.

Os métodos mais comuns para se avaliar a qualidade (ou clareza ou inteligibilidade) da voz são:

MOS (*Mean Opinion Score*)

PSQM/PSQM+ (*Perceptual Speech Quality Measurement/Enhanced*)

MNB (*Measuring Normalized Blocks*)

PAMS (*Perceptual Analysis Measurement System*)

PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*)

E-model (*The E-model, a computational model for use in transmission planning*)

P.563 (*Single Ended Method for Objective Speech Quality Assessment in Narrow-Band Telephony Applications*)

3.1.1 Mean Opinion Score (MOS)

A qualidade de voz é caracterizada por pontuações subjetivas (*Mean Opinion Score* - MOS), geradas em testes controlados. Como as pontuações MOS são subjetivas, os resultados para um sistema em teste são sempre comparados com uma referência bem estabelecida. Muitos fatores contribuem para a pontuação MOS da qualidade de voz fim-a-fim e irão requerer otimização individual, a fim de se obter a melhor pontuação MOS para o sistema como um todo.

O método recomendado para testes do tipo “somente ouvir” é o ACR: *Absolute Category Rating*. As recomendações P.800 (1996)² e P.830 (1996)³ do ITU-T fornecem as orientações para avaliação dos codecs de voz.

Vários tipos de escalas de 5 pontos são usados nos testes ACR. A escala (pontuação) mostrada nas Tabelas 3.1 a 3.3, a seguir, é usada frequentemente para aplicações do ITU-T, sendo também recomendada para testes em sistemas.

Tabela 3.1 - Escala da Qualidade do Entendimento (MOS)

Pontuação (MOS)	Qualidade do Entendimento da Voz	Nível de Distorção
5	Excelente	Imperceptível
4	Boa	Apenas perceptível, não perturbando
3	Razoável	Perceptível, perturbando um pouco
2	Pobre	Perturbando, mas não impeditivo
1	Ruim	Perturbando muito, impeditivo

Tabela 3.2 - Escala de esforço para o entendimento (MOS-LE)

Esforço exigido	Nota
Nenhum esforço	5
Necessidade de atenção	4
Esforço moderado	3
Esforço considerável	2
Nenhum entendimento	1

Tabela 3.3 - Escala de Preferência de Intensidade Sonora (MOS-LP)

Preferência de Intensidade Sonora	Nota
Muito mais alto que o nível ótimo	5
Mais alto que o nível ótimo	4
Nível ótimo	3
Mais baixo que o nível ótimo	2
Muito mais baixo que o nível ótimo	1

O teste de qualidade MOS é utilizado para avaliar a qualidade dos diferentes codecs. Nesta escala, um índice de 4,0 é considerado de boa qualidade (*toll*), igual à qualidade da voz ouvida em uma linha telefônica convencional (comutação por circuito)⁴.

Os índices MOS, taxa de bits e atraso para os codecs VoIP (*Voice over IP*) padrão são mostrados na Tabela 3.4

Tabela 3.4 - valores MOS dos Codecs⁴

Codec	Taxa de bits (kbps)	MOS	Atraso (ms)
G.711 PCM	64,0	4,3	0,125
G.721 ADPCM	32,0	4,2	0,125
G.726 Multi-rate ADPCM	16-40	2.0 – 4.3	0,125
G.723.1 MP-MLQ / ACELP	5,3; 6,3	3,7; 3,8	70
G.728 LD-CELP	16,0	4,1	2
G.729 CS-ACELP	8,0	4,0	20
G.729A CS-ACELP	8,0	3,4	20
GSM RPE-LPC	13,0	3,9	30

De acordo com a Tabela 3.4, os ganhos de compressão ou redução da largura de banda obtida por compressão são tipicamente da ordem de 2 a 12 vezes, excluindo o empacotamento dos cabeçalhos. Redução (média) adicional de 40-60% da largura de banda é obtida por meio da detecção da atividade de voz (VAD), uma técnica de omissão de transmissão de pacotes durante os períodos de silêncio.

A desvantagem do MOS é que é uma medida subjetiva e demora-se para chegar aos valores finais, pois depende de avaliadores que atribuem valores de 1(ruim) a 5 (excelente) para as frases que estão sendo ouvidas e avaliadas.

Já o PSQM+ é uma medida objetiva e os instrumentos em poucos segundos atribuem as notas de 0 (excelente) a 6,5 (ruim).

O PAMS segue a mesma escala de valores do MOS.

3.1.2 PSQM/PSQM+

Em resposta a necessidade de um método de teste objetivo da qualidade (clareza) da voz, automático e repetitivo que considerasse a natureza subjetiva e a percepção humana da clareza da voz foi desenvolvida a técnica PSQM (*Perceptual Speech Quality Measurement*).

O PSQM é um processo matemático que provê uma medida quantitativa (objetiva) da qualidade subjetiva da voz. A finalidade do PSQM é produzir uma pontuação que preveja resultados confiáveis dos testes subjetivos (MOS). Foi desenvolvido na Holanda pela KPN Research⁵.

O PSQM foi aprovado pelo Grupo de Estudo 12 do ITU-T e publicado como a recomendação P.861 (1996)⁶ Medida da qualidade objetiva de codecs de voz na banda de telefonia (300-3400 Hz), que define um método para estimar a qualidade subjetiva dos CODECs.

Essencialmente o algoritmo PSQM mede a distorção de um sinal de voz quando transmitidos por vários CODECs e meios de transmissão num sistema telefônico.

O método é baseado em pesquisas da percepção psico-acústico do ser humano com o objetivo de imitar a percepção humana do aparelho telefônico numa situação real. Assim a medida de distorção pode ser correlacionada com a percepção humana.

A recomendação P.50 (1999)⁷ define um conjunto de vozes artificiais (femininas e masculinas) que pode ser usado no teste. Possui os fonemas com as características necessárias tais como: espectro de

longa duração, espectro de curta duração, distribuição instantânea de amplitude e estrutura de ondas da voz.

Os valores resultantes do PSQM indicam o grau de degradação da qualidade de voz causada por todo o sistema de comunicação que está em teste. Reflete a quantidade de divergência entre o sinal limpo (sem distorção) de entrada e o sinal distorcido obtido na saída do sistema. Varia de 0 a infinito representando a distância perceptual entre os sinais de entrada e saída. O valor 0 (zero) significa nenhuma degradação (clareza perfeita). Os valores de PSQM crescem a medida que os níveis de distorção aumentam. Na prática os limites superiores da escala PSQM se situam na faixa de 15 a 20.

O teste PSQM é adequado para situações onde a distorção digital é a causa dominante da degradação da qualidade da voz. Essas distorções incluem compressão, ruído de quantização, erros de transcodificação de codecs, interrupções temporais (*time clipping*) do sinal, etc.

O PSQM não pretende medir os impactos causados na qualidade da voz dos seguintes parâmetros: atraso, jitter, erros no canal de transmissão (perda de pacote, taxa de erro de bit), ruído de fundo, etc.

A medida de qualidade de voz via PSQM+ é o PSQM aprimorado para considerar os efeitos da rede, tais como distorções causadas por perda de pacote e outros tipos de interrupções temporais presentes nas redes de pacote⁸.

Para sistemas compreendendo somente a codificação de voz o PSQM e o PSQM+ fornecem pontuações idênticas.

3.1.3 *Measuring Normalizing Blocks (MNB)*

Em 1997 baseado no relatório⁹ de Stephen D. Voran do *Institute for Telecommunications Science* e na Contribuição 24 (COM 12-24-E)¹⁰ do Grupo de Estudo 12 do ITU-T foi publicada a MNB como uma proposta de anexo a P.861 (PSQM). Esse anexo foi aceito em 1998 como apêndice II da P.861. Descreve uma técnica alternativa ao PSQM para medir a distância perceptual gerada pelas transformações perceptíveis dos sinais de entrada e saída. Tal técnica é conhecida como Medida Normalizada em Bloco.

Há dois tipos de MNB: MNB no tempo e MNB na frequência. O algoritmo cria um único valor não negativo chamado Distância Auditiva (*Auditory Distance* - AD) que é uma medida da distância perceptível entre os sinais de entrada (referência) e saída (teste) no sentido de predizer a qualidade subjetiva¹¹.

3.1.4 PAMS

Iniciou-se em 1992 na British Telecommunications um projeto para prover uma ferramenta de engenharia para predizer a qualidade de voz em uma conexão cujo produto era o PAMS (*Perceptual Analysis Measurement System*).

O resultado das medidas se refere a opiniões subjetivas da qualidade percebida por usuários reais coletadas durante anos, baseadas nas escalas do ITU-T (Qualidade do Entendimento e Esforço para o entendimento).

O trabalho amadureceu e licenças foram distribuídas para outros fabricantes de equipamentos de testes e monitoração de rede. A primeira versão foi em 1998.

O PAMS é um algoritmo (*software*) que avalia a qualidade da voz que foi transmitida através da rede telefônica fixa ou móvel. É o resultado de um programa de pesquisa de oito anos nos laboratórios da BT em Ipswich – transformado agora na Psytechnics – o PAMS tornou-se numa ferramenta essencial e está sendo usada em uma grande gama de aplicações¹².

O PAMS é um modelo objetivo projetado para predizer os resultados de testes subjetivos. Trabalha comparando uma gravação da voz degradada com a voz original que entrou na rede. Os sinais são

alinhados e equalizados, e então transformados para levar em consideração as principais propriedades do sistema da audição humana, tais como máscara e volume. A diferença entre os sinais é mostrada na forma de superfície de erro, uma medida dos erros audíveis que foram introduzidos. Após aplicar algumas novas técnicas da interpretação, é traçado em duas escalas de qualidade:

- LQ - uma predição da qualidade de entendimento
- LE - uma predição do esforço de entendimento

Há diversas diferenças importantes entre o PAMS e os modelos objetivos anteriores de avaliação da qualidade de voz.

Atraso variável: o PAMS foi o primeiro modelo objetivo a levar em consideração o atraso variando no tempo que é uma característica do serviço voz sobre o IP e de outros serviços baseados em rede de pacotes. A versão 2, incorporando a habilidade de identificar o tipo mais comum de mudança de atraso - em períodos silenciosos - está disponível comercialmente desde dezembro 1998. A versão 3, de dezembro 1999, adicionou a capacidade para identificar variações do atraso durante a fala, mesmo que estas sejam muito menos comuns. Um perfil total do atraso e dos pontos de variação do atraso é retornado para o PAMS.

Filtro nas interfaces analógicas: o PAMS foi projetado para uso em redes reais. As interfaces híbridas e outras analógicas introduzem filtragem que faz com que os modelos objetivos anteriores como o P.861 forneçam predições não confiáveis da qualidade. Para lidar com isso, o PAMS é capaz de identificar automaticamente uma ampla faixa de tipos de filtro. A função de transferência do sistema é retornada ao usuário para o diagnóstico.

Robustez: o método usado para projetar o PAMS garante que sempre haverá uma relação de um para um entre a quantidade de distorção e a escala de qualidade. Outros métodos tais como a regressão linear ou redes neurais não podem garantir isto. Foi feito então um novo tratamento matemático para usar o conhecimento adquirido tal que se qualquer coisa piorar, a qualidade deve cair. Este processo torna o modelo mais exato em prever a qualidade para as condições da rede que não fizeram parte de seus dados de treinamento, e dá uma confiança maior de que continuará a desempenhar com confiabilidade quando usado em campo.

3.1.5 PESQ

O PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality* - Avaliação da Percepção da Qualidade da Voz) é um algoritmo (*software*) que avalia a qualidade da voz que passou na rede telefônica fixa ou móvel. Foi padronizado pelo ITU-T como a Recomendação P.862 (2001)¹³. O PESQ marca um passo importante em direção ao escopo da exatidão comparada aos modelos anteriores de avaliação da qualidade de voz, tais como PSQM (P.861), PSQM+ e MNB.

O PESQ é um modelo objetivo projetado para prever os resultados de testes subjetivos. Trabalha comparando uma gravação degradada da voz com a voz original que entrou na rede. Os sinais são alinhados e equalizados, a seguir transformados para levar em conta as propriedades-chaves do sistema auditivo humano tais como máscara e volume. A diferença entre os sinais é mostrada na densidade do distúrbio, uma medida dos erros audíveis que foram introduzidos. Após aplicar algumas técnicas novas de interpretação, é mapeado em uma predição da qualidade de audição.

Ao contrário do PSQM (P.861), PSQM+ e MNB, o PESQ pode levar em consideração uma larga gama de fenômenos da rede, incluindo:

- Atraso variável;
- Filtragem nas interfaces analógicas;
- Grande gama de codecs, de tecnologias e de tipos de rede.

Os resultados a seguir mostram como o PESQ tem maior exatidão - medida pelo coeficiente de correlação com o teste subjetivo (MOS) - num total de 38 testes¹⁴.

Tabela 3.5 - Comparação dos métodos

No. testes	Tipo	Coef. Correlação	PESQ	PSQM	PSQM+	MNB
19	Rede Móvel	média	0,962	0,924	0,935	0,884
		pior caso	0,905	0,843	0,859	0,731
9	Rede Fixa	média	0,942	0,881	0,897	0,801
		pior caso	0,902	0,657	0,652	0,596
10	VoIP/multitipo	média	0,918	0,674	0,726	0,690
		pior caso	0,810	0,260	0,469	0,363

3.1.6 E-model

A recomendação G.107 do ITU-T define o *E-model*¹⁵. O modelo E é complexo; a saída de um cálculo do modelo E é uma pontuação única chamada de "fator R" derivado de fatores de perturbação dos atrasos e de equipamento (codificação, perda de pacote)¹⁶.

Uma vez que um fator R é obtido, pode ser mapeado a um MOS estimado. A faixa de valores do fator R vai de 100 (excelente) a 0 (pobre). Um valor MOS estimado pode ser diretamente calculado a partir do fator R do modelo E.

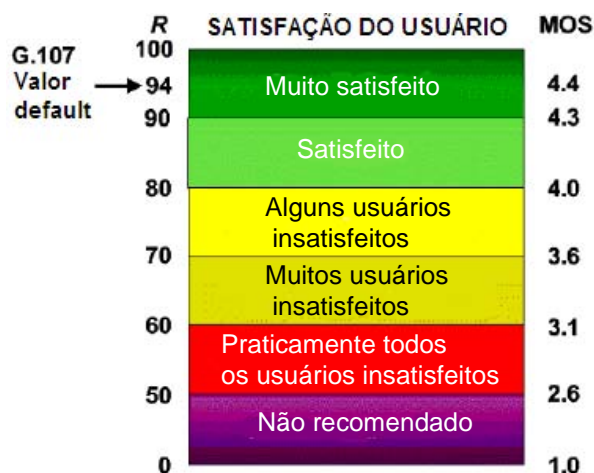


Figura 3.1 - Valores do fator R do modelo E são mostrados à esquerda e à direita os valores MOS correspondentes. O provável nível de satisfação dos ouvintes humanos é mostrado no centro¹⁶

3.1.7 Recomendação P.563

Esta recomendação do ITU-T é o resultado de um trabalho colaborativo entre a Opticom, SwissQual e Psytechnics, três fornecedores europeus de *software* e *hardware* para qualidade de voz, que anteriormente à P.563 tinham suas próprias versões proprietárias de software de análise da qualidade de voz (passiva, não intrusiva). Lançada em maio de 2004, a P.563¹⁷ faz uma análise extensiva da forma de onda e é, conseqüentemente, computacionalmente intensiva. É tipicamente implantada nos gateways e probes das operadoras¹⁸.

A recomendação P.563 é considerada “monitoramento passivo”. Não injeta qualquer dado na rede e usa software para analisar o áudio a partir das chamadas em curso e dá um valor MOS que prediz o que um grupo (humano) de peritos de teste daria.

É diferente de outros algoritmos, pois não há arquivo de áudio de referência para comparar. Uma avaliação de qualidade P.563 pode facilmente ser verificada tendo um painel humano real também avaliando a chamada. A correlação entre as avaliações P.563 e aquelas dos usuários reais varia tipicamente de 0,85 a 0,9. Embora estes números mostrem que a P.563 não seja tão exata quanto o PESQ, é estatisticamente significativo o suficiente para ser uma ferramenta útil¹⁹.

3.2 Fatores Relevantes da Rede

Os fatores que mais afetam a qualidade de voz em uma rede são:

- Atraso;
- Variação do atraso (*jitter*);
- Perda de pacote;
- Vazão (*throughput*)

A seguir descreve-se brevemente cada um desses fatores.

3.2.1 Atraso

A latência e o atraso são fatores importantes para a qualidade de serviço das aplicações (especialmente as interativas). Ambos os termos podem ser utilizados na especificação de QoS, embora o termo "latência" seja mais utilizado para processamento em equipamentos e o termo "atraso" seja mais utilizado com as transmissões de dados (p. ex., atrasos de transmissão, atrasos de propagação, etc)²⁰.

De uma forma geral, a latência da rede pode ser entendida como o somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação. Do ponto de vista da aplicação, a latência (atraso) resulta em um tempo de resposta (tempo de entrega da informação - pacotes, ...) para a aplicação.

Atraso ou latência é o maior desafio da qualidade de serviço para a voz em redes de pacotes e corresponde ao tempo necessário para transmitir os pacotes de dados da origem ao destino.

O atraso que ocorre nas redes IP é consequência do compartilhamento da largura de banda e do processamento nos roteadores e terminais (*endpoints*). As aplicações de dados, para as quais as redes de pacotes foram desenvolvidas, são mais tolerantes ao atraso que as de voz, onde considera-se que o máximo atraso tolerável, em um sentido de transmissão, é de 250 ms.

O atraso pode ser classificado em fixo e variável. O atraso fixo corresponde ao atraso fim-a-fim para qualquer pacote de voz, independentemente dos pontos de congestionamento na rede. O atraso variável é incremental, causado principalmente por congestionamentos na rede ou nos *gateways*.

3.2.1.1 Atraso Fixo

O atraso fixo pode ocorrer, para as aplicações de VoIP, por exemplo, nas seguintes etapas:

- compressão (codificação)
- inter-processamento nos terminais (*endpoints*)

- transmissão de dados internos
- transmissão na rede
- buffer (configurável)*
- descompressão (decodificação)

* Pode ser variável.

Em aplicações de VoIP, os sinais de voz analógicos são transmitidos em uma rede de dados, devendo primeiramente serem digitalizados e, em seguida, comprimidos.

Os atrasos de compressão são estimados como sendo da ordem de 20 a 45 ms, dependendo do algoritmo de compressão utilizado. Ao chegar no destino, a descompressão é estimada como sendo da ordem de 10ms.

Os atrasos de processamento nos *gateways* ou roteadores são cerca de 10 ms em cada ponta (origem e destino).

Atrasos de transmissão são altamente dependentes da velocidade do enlace, sendo quase desprezíveis (0,25 ms) em cada ponta em enlaces E1 (2Mbit/s) e da ordem de 7 ms em cada ponta, para enlaces de 56 kbit/s.

O atraso na rede é função da capacidade e do projeto da rede em particular. Para uma rede IP de boa qualidade, o atraso deve ser da ordem de 50 a 250 ms.

A Tabela 3.6 a seguir mostra o atraso fixo típico em sistemas VoIP⁴.

Tabela 3.6 - Atraso fixo em VoIP⁴

Processamento	Típico (ms)
Compressão	20-45
Inter-Proces. (Origem)	10
Transmissão (Origem)	0,25-7
Transm. na rede (um sentido)	10-200
Transmissão (Destino)	0,25-7
Inter-Proces. (Destino)	10
Controle do Buffer (Variável)	10-80
Descompressão	10
Total dos Atrasos Fixos (sem Buffer)	91 ~ 403

A especificação técnica do projeto TIPPHON do ETSI, TS 102 024-2 v4.1.1 (2003-09)²¹, tem por escopo, o estabelecimento de requisitos mínimos de QoS para uma rede de pacotes com serviços em tempo real, como o de voz.

O objetivo do projeto TIPPHON é dar suporte ao mercado em comunicação de voz e aos aspectos relacionados a multimídia entre usuários de redes baseadas em IP e usuários da rede comutada de circuito (SCN), bem como entre usuários da SCN usando redes baseadas em IP para conexão/enruncamento, por meio de produção de documentos apropriados.

A Tabela 3.7 a seguir mostra os requisitos de atraso fim-a-fim.

Tabela 3.7- Requisitos de atraso fim-a-fim para sistemas TIPHON

Classe de QoS		Atraso fim-a-fim
Faixa Larga		< 100ms
Faixa Estreita	Alta	< 100ms
	Média	< 150ms
	Aceitável	< 400ms
Melhor Esforço		< 400ms

A relação entre o atraso (em um sentido) e o MOS é mostrada a seguir⁴:

Tabela 3.8 - Relação entre atraso e MOS

Atraso [ms]	Esforço em VoIP	MOS
< 50	Qualidade totalmente “ <i>toll</i> ”	4,5
150	Qualidade “ <i>toll</i> ”	4,0
250	Qualidade quase “ <i>toll</i> ”	3,8
500	Qualidade razoável	2,37
2000	Inaceitável	< 2

3.2.1.2 Variação do atraso (*jitter*)

A variação do atraso (*jitter*) muda, em tempo real, em função do congestionamento do tráfego na rede. Corresponde essencialmente, à soma dos atrasos na fila e na transmissão, em cada comutador ou roteador intermediário na rede. A fila tem um impacto significativo no atraso se a voz estiver competindo com outras aplicações. O controle de *buffer* também incrementa o atraso total na rede.

As redes IP podem ser projetadas para minimizar o atraso, acrescentando-se banda e reduzindo-se as aplicações que competem entre si, por exemplo.

Os cabeçalhos dos pacotes IP são necessários para direcionar a transmissão de voz sobre a rede IP. Os cabeçalhos têm 40 bytes cada, o que faz com que as transmissões de voz sobre as redes IP demandem um nível significativo de banda. Aumentar a largura de banda da rede, entretanto, irá aumentar os custos da mesma.

O *jitter* é um fator importante para a qualidade de serviço. No caso, o *jitter* é importante para as aplicações cuja operação adequada depende de alguma forma da garantia de que as informações (pacotes) devem ser processadas em períodos de tempo bem definidos. Este é o caso, por exemplo, de aplicações de voz e fax sobre IP (VoIP) e outras aplicações de tempo real, etc. *Jitter* severo em transmissões de VoIP causa distorção da voz.

Do ponto de vista de uma rede IP, o *jitter* pode ser entendido como a variação no tempo e na sequência de entrega das informações (p. ex., pacotes) (*Packet-Delay Variation*) devido à variação na latência (atrasos) da rede.

A Tabela 3.9 relaciona os níveis de degradação da rede baseada no *jitter* usando o codec G.711 e valores do TIPHON⁴.

Tabela 3.9 - Níveis de degradação da rede baseada no *jitter*

Categoria de Degradação da Rede	<i>Jitter</i> Médio [ms]	MOS
Perfeita	0	4,5
Boa	75	4,0
Média	125	3,5
Pobre	225	3,0

3.2.2 Perda de pacotes

As perdas de pacotes em redes IP ocorrem principalmente em função de fatores tais como:

- Descarte de pacotes nos roteadores e switch routers (Erros, congestionamento, ...) e
- Perda de pacotes devido a erros ocorridos na camada 2 (PPP - *Point-to-Point Protocol*, Ethernet, frame relay, ATM, ...) durante o transporte dos mesmos.

As perdas de pacotes são um problema sério para, por exemplo, a voz sobre IP. Neste caso específico, a perda de pacotes com a voz digitalizada implica numa perda de qualidade eventualmente não aceitável para a aplicação.

Do ponto de vista da qualidade de serviço da rede (QoS) a preocupação é normalmente no sentido de especificar e garantir limites razoáveis (Taxas de Perdas) que permitam uma operação adequada da aplicação.

A maioria dos protocolos de aplicação de dados, tais como o TCP, automaticamente retransmite os pacotes perdidos. Devido a sua característica de tempo real, as aplicações de VoIP utilizam os protocolos UDP e RTP, e o UDP não efetua a retransmissão dos pacotes perdidos (e também não faz sentido a retransmissão, pois somente atrapalharia a conversação).

A Tabela 3.10 relaciona a perda de pacote e o MOS usando o codec G.711 e valores do TIPHON⁴.

Tabela 3.10 - Relação da Perda de pacote e MOS

Porcentagem de Perda	Qualidade de Voz	MOS
3%	Boa	4,2
15%	Média	3,8
25%	Pobre	3,0

A Tabela 3.11 relaciona os níveis de degradação da rede do acordo com o TIPHON²².

Tabela 3.11 - Níveis de degradação da rede

Categoria de Degradação da Rede	Perda de Pacote (1)	Jitter médio (2)
Perfeita	0	0 ms
Boa	3%	75 ms
Média	15%	125 ms
Pobre	25%	225 ms
(1): assume-se que a distribuição de perda de pacotes é gaussiana (2): assume-se que a distribuição de jitter é gaussiana (com desvio padrão de metade da média)		

3.2.3 Vazão (*Throughput*)

Vazão (*Throughput*) é uma medida absoluta da quantidade de dados que é transferida através de uma conexão dentro de um período de tempo especificado.

Nas redes atuais, o tráfego oferecido para um serviço IP fim-a-fim não é checado por sua conformidade a um padrão de tráfego acordado. Além disso, essas redes podem limitar a taxa em que os pacotes são oferecidos por uma fonte simplesmente descartando esses pacotes. Normalmente não fazem qualquer compromisso para entregar qualquer tráfego oferecido.

No entanto, é usual caracterizar o desempenho em termos de parâmetros relativos a vazão, que avaliam a capacidade de redes ou seções IP de transportar quantidades de pacotes IP. Um parâmetro caracterizando a vazão para um serviço IP deveria relacionar o total de pacotes IP transportados com sucesso por uma rede ou seção IP ao total de pacotes IP que foram entregues a esta rede ou seção.

Alguns parâmetros relativos a fluxo ou vazão tentam caracterizar a capacidade de vazão de uma rede IP, ou seja, sua capacidade de sustentar uma determinada taxa de transferência de pacotes IP. É recomendado que quaisquer desses parâmetros devem cumprir os seguintes requisitos:

1) O padrão de tráfego oferecido para a rede ou seção IP deveria ser descrito, já que a habilidade da rede ou seção IP para entregar de forma bem sucedida esses pacotes depende desse padrão de tráfego.

2) A taxa em que o tráfego é oferecido não deve exceder a capacidade (em bits por segundo) do enlace que conecta as seções em teste com as seções de destino que não estão em teste.

Em qualquer declaração individual a respeito de desempenho da vazão, o tipo de pacote IP considerado deve ser declarado.

Há dois tipos principais de parâmetros de vazão. Um deles mede a vazão em termos de taxa de pacotes IP transmitidos com sucesso. O outro é baseado em octetos e mede a vazão em termos dos octetos que foram transmitidos nesses pacotes²³.

1 – IPPT (*IP Packet Throughput*)

Para um dado número de pacotes enviados de uma origem a um destino determinados, a vazão é o número total de pacotes IP transmitidos com sucesso ao destino, durante um intervalo de tempo especificado, dividido pela duração do intervalo de tempo.

2 – IPOT (*Octet based IP packet throughput*)

Para um dado número de pacotes enviados de uma origem a um destino determinados, a vazão é o número total de octetos em pacotes IP que foram transmitidos com sucesso ao destino, durante um intervalo de tempo especificado, dividido pela duração do intervalo de tempo.

Existem vazões típicas²⁰ para cada aplicação, como apresentado na Tabela 3.12.

Tabela 3.12 - Vazão típica para diferentes tipos de aplicação

Aplicação	Vazão (Típica)
Aplicações Transacionais	1 kbps a 50 kbps
Voz	10 kbps a 120 kbps
Aplicações Web	10 kbps a 500 kbps
Transferência de Arquivos (grandes)	10 kbps a 1 Mbps
Vídeo (<i>stream</i>)	100 kbps a 1Mbps
Vídeo MPEG	1 Mbps a 10 Mbps
Aplicação Imagens Médicas	10 Mbps a 100 Mbps
Aplicação de Realidade Virtual	80 Mbps a 150 Mbps

3.3 Codificação de voz e Empacotamento

Os codificadores de voz (codecs) têm uma grande influência na qualidade de voz, pois quando reduzem a taxa de 64 kbit/s convencional para outras menores há o ganho na banda, mas por outro lado a qualidade de voz é degradada.

Geralmente os codecs utilizam 20 ms de amostra de voz para gerar os pacotes. Este tempo de amostra favorece a geração de pacotes pequenos.

Após isso ainda se acrescentam os cabeçalhos para montar o quadro (o que gera um *overhead*). Vide Figura 3.2 a seguir.

- PPP (WAN) – 206 bytes
- Ethernet – 218 bytes

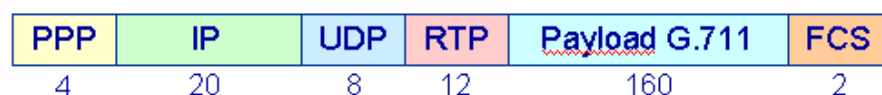


Figura 3.2 - Exemplos de empacotamento

Por exemplo, supondo-se que se utilize o codec G.711 e o PPP (*Point-to-Point Protocol*) na camada 2 (enlace) tem-se:

- Sem a compressão dos cabeçalhos RTP/IP:

$$(4+20+8+12+160+2) \times 8\text{bits} / 20\text{ms (tempo de empacotamento do codec)} = 82,4 \text{ kbit/s}$$

Portanto, um overhead = $[(206 / 160) - 1] \times 100 = 28,75\%$

- Com compressão dos cabeçalhos RTP/IP:

$$(4+4+160+2) \times 8\text{bits} / 20\text{ms} = 68 \text{ kbit/s}$$

Portanto, um overhead = $[(170 / 160) - 1] \times 100 = 6,25\%$

O codificador/decodificador é um dispositivo que converte o sinal analógico de voz em sinal digital (e também realiza a compressão), convertendo (depois da descompressão), novamente, em sinal

analógico. Afeta a inteligibilidade da voz e diferentes tipos de codificadores fornecem diferentes QoS para a VoIP⁴. Os mais utilizados em telefonia IP, padronizados pelo ITU-T, são:

- G.711: este algoritmo codifica a voz em 64 kbit/s. A qualidade de voz é equivalente à da PSTN, requerendo a largura de banda de um canal de voz tradicional da rede de circuitos.
- G.723.1: este algoritmo é executado a 6,4 ou 5,3 kbit/s e é um codificador padrão de áudio que opera a baixas taxas, mantendo alta qualidade de percepção. Opera prioritariamente em vídeo-telefonia, embora a alta complexidade computacional da codificação de áudio limite o desempenho da maioria desses sistemas.
- G.726: pode operar a 40, 32, 24 ou 16 kbit/s. A qualidade de voz depende da taxa utilizada e degrada a medida que esta diminui.
- G.729A: este algoritmo é executado a 8 kbit/s com um atraso total de 35 ms. Fornece desempenho próximo ao da PSTN e é ideal para aplicações que requerem alta qualidade de codificação de voz, com atraso mínimo.

3.4 Qualidade de Serviço Fim-a-Fim

No documento do ETSI para qualidade de serviço fim-a-fim em sistemas TIPHON²¹ foram definidas três classes de QoS de voz fim-a-fim. As de classes de QoS de voz do TIPHON são definidas a partir da boca até o ouvido e, portanto, incluem tanto as características da rede quanto do terminal TIPHON:

- Faixa Larga: este é um tipo de serviço de telefonia IP que provê ao usuário uma experiência melhor que a PSTN. É esperado que estes sistemas sejam implementados com codecs de faixa larga (codificando sinais analógicos acima de 3,1 kHz) e em redes IP com QoS.
- Faixa Estreita: este é um tipo de serviço de telefonia IP que provê ao usuário uma experiência similar à oferecida pela PSTN. É esperado que tais sistemas sejam implementados em redes IP com QoS.
- Faixa Estreita/Alta: esta qualidade é equivalente aos recentes serviços de ISDN.
- Faixa Estreita/Média: esta qualidade é equivalente aos recentes serviços de telefonia móvel celular em boas condições de rádio, por exemplo, redes GSM usando o codec EFR (*Enhanced Full Rate*), ou sistemas usando o codec da rec. G.726 do ITU-T a 32 kbit/s.
- Faixa Estreita/Aceitável: esta qualidade é equivalente aos serviços comuns de telefonia móvel celular, por exemplo, redes GSM usando o codec FR (*Full Rate*) ou sistemas incluindo um satélite geoestacionário.
- Melhor Esforço – este tipo de serviço provê um serviço de comunicação utilizável, mas sem garantia de desempenho. Podem existir períodos de significativas imperfeições na qualidade de voz e grandes atrasos fim-a-fim os quais provavelmente vão impactar a interatividade da conversação. É esperado que tais comunicações operem em redes IP sem QoS como a rede Internet pública.

As classes de QoS de voz do TIPHON Faixa Larga e Faixa Estreita provêm garantias de desempenho para 95% das conexões. A classe melhor esforço não provê garantias de desempenho.

Cada classe é especificada por três métricas de desempenho:

- Classificação geral da qualidade de transmissão (R);
- Qualidade da voz (qualidade de voz fim-a-fim, não interativa, em um único sentido);
- Atraso fim-a-fim (em um único sentido).

Para cumprir com uma específica classe de QoS de voz um sistema TIPHON deve atingir os limites da Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R) dado na Tabela 3.13. Além disso os limites de atraso fim-a-fim e a da qualidade de voz dados nas Tabela 3.15 e 3.16, respectivamente, devem ser atingidos na mesma classe.

A Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R) descreve a qualidade acústica-acústica (da boca até ao ouvido) total, experimentada por um usuário médio, para uma situação típica usando um aparelho telefônico “padrão”.

A classificação R é calculada usando o modelo E. Para fins de cálculo o uso de aparelhos telefônicos tradicionais (rec. P.310 do ITU-T) em ambos os lados da conexão é assumido.

Tabela 3.13 - Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R) para os sistemas TIPHON

	3 (Faixa Larga)	2 (Faixa Estreita)			1 (Melhor esforço)
		2A (Alta)	2M (Média)	2Ac (Aceitável)	
Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R)	(Vide nota 2)	> 85	> 70	> 50	> 50 (Vide nota 3)

Nota 1: O valor R incorpora todas as degradações, incluindo os efeitos da perda de pacotes.
 Nota 2: A caracterização do valor R de sistemas empregando codecs faixa larga está sob estudo.
 Nota 3: A classificação para a classe melhor esforço é um valor objetivo a ser atingido.
 Nota 4: Os níveis de qualidade de voz dados nesta tabela devem ser aplicados para uma porcentagem da duração da chamada. A porcentagem da duração, quando a qualidade da voz cai abaixo dos níveis especificados, e a distribuição e duração dos intervalos, quando isso ocorre, requer maiores estudos.
 Nota 5: A porcentagem de ocasiões que um nível de qualidade de voz requerido (ou contratado) não está disponível por alguma razão é uma questão de grau de serviço e é um assunto de política para os provedores de serviço, individualmente.
 Nota 6: O que acontece se um nível de QoS requerido ou contratado não está disponível é assunto das políticas dos provedores de serviço, individualmente.

A relação entre a Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R) e a percepção do usuário da qualidade está definida na Recomendação G.109²⁴ do ITU-T. A Tabela 3.14 é extraída desta recomendação.

Tabela 3.14 – Categorias de qualidade de transmissão de voz definidos pelo ITU-T

Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R)	$90 \leq R < 100$	$80 \leq R < 90$	$70 \leq R < 80$	$60 \leq R < 70$	$50 \leq R < 60$
Satisfação do usuário	Muito satisfeito	Satisfeito	Alguns usuários insatisfeitos	Muitos usuários insatisfeitos	Praticamente todos os usuários insatisfeitos

As especificações da qualidade da voz para as classes de QoS TIPHON são dadas na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 - Qualidade da voz dos sistemas TIPHON

	3 (Faixa Larga)	2 (Faixa Estreita)			1 (Melhor esforço)
		2A (Alta)	2M (Média)	2Ac (Aceitável)	
Qualidade da voz (em um único sentido, não interativo)	Melhor que G.711	Equivalente ou melhor que G.726 a 32 kbit/s	Equivalent e ou melhor que GSM-FR	Não definida	Não definida
Classificação Geral da Qualidade de Transmissão (R) resultante	N.D.	> 86	> 73	> 50	> 50

Nota 1: Os valores de R se originam dos cálculos do modelo E assumindo que um controle de eco perfeito é implantado, e que há atraso zero no sistema, que os terminais padrões são usados, e também que todas as perturbações relativas a codificação a baixas taxas – incluindo os efeitos de perda de pacotes – são considerados.

Nota 2: “A qualidade de voz relativa” não descreve a qualidade de voz (a qualidade acústica-acústica total (da boca até ao ouvido) que o usuário experimenta). Isso depende da qualidade acústica do terminal TIPHON individual, bem como da qualidade da rede TIPHON.

Nota 3: O uso de exemplos de codecs indica uma qualidade de voz relativa, não um codec recomendado para a implementação. Os níveis de desempenho incluem qualquer degradação causada pela rede ou terminal, tal como perda de pacotes.

Nota 4: Os níveis de qualidade de voz dados nesta tabela devem ser aplicados para uma porcentagem da duração de uma chamada. A porcentagem da duração, quando a qualidade da voz cai abaixo dos níveis especificados, e a distribuição e duração dos intervalos, quando isso ocorre, requer maiores estudos.

Nota 5: A porcentagem de ocasiões que um nível de qualidade de voz requerido (ou contratado) não está disponível por alguma razão é uma questão de grau de serviço e é um assunto de política para os provedores de serviço, individualmente.

Nota 6: O que acontece se um nível de QoS requerido ou contratado não está disponível é assunto das políticas dos provedores de serviço, individualmente.

As especificações do atraso fim-a-fim (em um único sentido) para as classes de QoS TIPHON são baseadas na rec. G.114²⁵ do ITU-T e são dadas na Tabela 3.16:

Tabela 3.16 - Atraso fim-a-fim para os sistemas TIPHON

	3 (Faixa Larga)	2 (Faixa Estreita)			1 (Melhor esforço)
		2A (Alta)	2M (Média)	2Ac (Aceitável)	
Atraso fim-a-fim	< 100 ms	< 100 ms	< 150 ms	< 400 ms	< 400 ms
<p>Nota 1: O atraso para a classe melhor esforço é valor objetivo a ser atingido.</p> <p>Nota 2: Os níveis de qualidade de voz dados nesta tabela devem ser aplicados para uma porcentagem da duração de uma chamada. A porcentagem da duração, quando a qualidade da voz cai abaixo dos níveis especificados, e a distribuição e duração dos intervalos, quando isso ocorre, requer maiores estudos.</p> <p>Nota 3: A porcentagem de ocasiões que um nível de qualidade de voz requerido (ou contratado) não está disponível por alguma razão é uma questão de grau de serviço e é um assunto de política para os provedores de serviço, individualmente.</p> <p>Nota 4: O que acontece se um nível de QoS requerido ou contratado não está disponível é assunto das políticas dos provedores de serviço, individualmente.</p>					

Foram alocados os parâmetros de desempenho fim-a-fim das classes de QoS do TIPHON entre terminal e rede.

A Tabela 3.17 mostra os principais parâmetros que impactam a qualidade da voz fim-a-fim em um sistema VoIP e a associação com o terminal, a rede ou ambos²⁶. Note que o controle de eco foi desconsiderado.

Tabela 3.17 - Principais parâmetros de qualidade de voz IP e suas associações

Parâmetro	Associado com	
	Terminal	Rede
Tipo de codec	Sim	Não
Perda de pacote	Não (1)	Sim
Atraso	Sim (2)	Sim (3)
Variação do atraso (<i>jitter</i>)	Não (4)	Sim (5)
<p>Nota 1: Assume-se que o buffer para o <i>jitter</i> está apropriadamente dimensionado para evitar perda de pacote devido a <i>overflow</i>.</p> <p>Nota 2: Devido a codificação/empacotamento da voz e buffers para a variação do atraso.</p> <p>Nota 3: Devido ao roteamento/propagação na rede.</p> <p>Nota 4: Assume-se que qualquer variação de atraso proveniente da transmissão é incluído no atraso do terminal.</p> <p>Nota 5: A variação do atraso é introduzida pela rede, mas compensada no terminal.</p>		

Observando-se a Tabela 3.17 e assumindo-se algumas simplificações nota-se que três dos quatro parâmetros – tipo de codec, perda de pacote e variação de atraso – estão associados ou com o terminal ou com a rede, mas não com ambos. Isto significa que o balanço fim-a-fim para esses parâmetros pode ser totalmente alocado ao correspondente elemento. Por outro lado o atraso está associado tanto com o terminal quanto com a rede e o balanço do atraso total fim-a-fim deve ser alocado entre os mesmos.

Reconhecendo que:

- O atraso total fim-a-fim = (atraso da codificação da voz e do empacotamento) + (atraso de propagação) + (atraso devido ao tamanho do buffer para compensar a variação do atraso);

- e que o *jitter* é introduzido pela rede, mas é compensado no terminal está claro que o atraso no terminal é essencialmente fixo, mas o atraso na rede será função da distância e o número de saltos dos roteadores.

Nota-se que o (atraso de roteamento na rede + atraso de propagação) = (atraso total para as classes de QoS do TIPHON) – (atraso de codificação de voz e empacotamento + atraso de compensação de jitter) onde o atraso de compensação do *jitter* deve ser pelo menos igual a variação do atraso da rede. A Tabela 3.18 mostra, entre outras coisas, o atraso de propagação mais de roteamento disponíveis para atingir uma dada classe de QoS do TIPHON.

A Tabela 3.18 resume três dos parâmetros relevantes de desempenho fim-a-fim de classes de QoS do TIPHON - atraso na rede (roteamento + propagação), perda de pacote e *jitter* - considerando um terminal de baixo atraso (< 50 ms – nas operações de codificação/decodificação e empacotamento) e três classes de rede (baseadas na perda de pacote e variação de atraso (*jitter*)).

Esta tabela está adaptada a partir da definição de classes de QoS para QoS fim-a-fim em sistemas TIPHON¹⁹ para o transporte de voz.

Tabela 3.18 - Requisitos de QoS - Valores Quantitativos

Classe de Rede	Classes QoS TIPHON	PARÂMETROS		
		Atraso da Rede	Perda de Pacote	Jitter
I	Faixa Larga	40 ms	< 0,5%	< 10ms
	Faixa Estreita/Média	90 ms		
	Melhor esforço	340 ms		
II	Faixa Larga	30 ms	< 1,0 %	< 20 ms
	Faixa Estreita/Média	80 ms		
	Melhor esforço	330 ms		
III	Faixa Larga	10 ms	< 2,0 %	< 40 ms
	Faixa Estreita/Média	60 ms		
	Melhor esforço	310 ms		

No projeto TIPHON quatro cenários para interoperabilidade entre sistemas de telefonia IP e a PSTN são estudados²², com aspectos de QoS genéricos, referentes a todos os cenários e outros específicos a cada um deles:

- Cenário 1: chamada originada na rede IP, com destino na PSTN;
- Cenário 2: chamada originada na PSTN, com destino na rede IP;
- Cenário 3: chamada originada na PSTN, destinada à PSTN, cursada via a rede IP;
- Cenário 4: chamada originada na rede IP, destinada à rede IP, cursada via a PSTN.

Os parâmetros de QoS são especificados para cada um dos elementos que compõem uma rede TIPHON: (i) terminal IP, (ii) rede de acesso IP, (iii) *backbone* IP, (iv) IWF (*InterWorking Function: Gateway, Gatekeeper(s)*), (v) PSTN e (vi) terminal de voz conectado à PSTN.

A Qualidade de Serviço fim-a-fim é caracterizada por dois aspectos²⁷:

- Qualidade do estabelecimento da chamada;
- Qualidade da chamada em si.

A qualidade do estabelecimento da chamada é caracterizada, principalmente, pelo tempo de estabelecimento, isto é, o intervalo de tempo decorrido entre o comando de estabelecimento (discagem no teclado, etc.) e o recebimento de um tom significativo pelo usuário chamador.

Outros fatores, como facilidade de utilização, também contribuem para a percepção do serviço pelo usuário, sendo que o tempo de estabelecimento é um fator objetivo e a facilidade de utilização, subjetivo.

Em termos de qualidade da chamada, são dois os fatores que mais contribuem para a percepção da qualidade do serviço pelo usuário:

- Atraso fim-a-fim: impacta a interatividade de uma conversação;
- Qualidade de voz fim-a-fim: é a qualidade de voz em um sentido de transmissão, avaliada em uma situação não interativa.

Ecos também contribuem para a qualidade de voz fim-a-fim, sendo que a tolerância dos usuários ao eco decresce com o acréscimo do atraso fim-a-fim. Pode-se assumir que um cancelamento de eco adequado é implementado nos dispositivos acústicos do sistema, de modo a garantir que não alterem os níveis de QoS fim-a-fim.

O eco está presente mesmo em uma chamada telefônica pela rede convencional, pois é gerado pela híbrida que converte o circuito de 4 fios (isto é, um par para a transmissão e outro par para recepção) em 2 fios. A diferença é que o atraso de ida-e-volta, na rede de circuitos, normalmente é menor que 50ms e o eco é mascarado pelo som gerado pelo telefone convencional, não sendo perceptível ao usuário. Nas redes VoIP, o eco torna-se um problema, porque o atraso de ida-e-volta na rede é sempre maior que 50ms.

Para se avaliar a qualidade da chamada telefônica em uma rede IP, cada chamada é avaliada em termos de duas medidas²¹: qualidade da voz (qualidade com a qual a voz chega ao destino) e qualidade da sinalização (qualidade com a qual a sinalização é transmitida). Ambas são impactadas por diversos fatores inter-relacionados⁴ como mostrado na Figura 3.3.

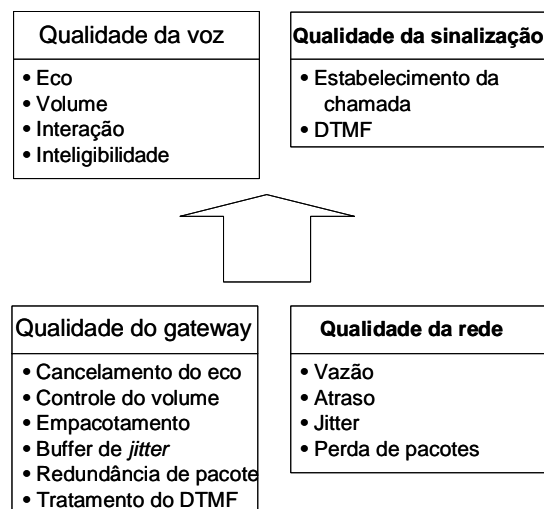


Figura 3.3 – Fatores da qualidade da chamada⁴

A qualidade da voz é composta dos seguintes fatores:

- Interação: a capacidade de uma pessoa ou equipamento comunicar-se com outra pessoa ou equipamento, em tempo real e modo *full duplex*;
- Inteligibilidade: clareza da voz;
- Eco: retorno da voz;
- Volume: audibilidade da voz.

E a qualidade da sinalização, por sua vez, é composta dos seguintes fatores:

- Estabelecimento da chamada: a taxa de sucesso de estabelecimento e o tempo de estabelecimento da chamada;
- Completamento da chamada: duração da chamada e taxa de completamento;
- DTMF: detecção de tons DTMF.

Os fatores que afetam a qualidade da chamada podem ser divididos em duas partes:

- QoS da rede IP ;
- QoS do *gateway*.

Os fatores de QoS da rede são os seguintes:

- Vazão (máxima vazão): quantidade máxima de dados úteis e não redundantes que é transmitida;
- Atraso (Latência): tempo de envio de um pacote por um determinado meio ou rede;
- *Jitter*: variação de atraso entre pacotes consecutivos;
- Perda de pacotes: pacotes de dados perdidos durante a transmissão.

E os fatores de QoS do gateway, por sua vez, são os seguintes:

- Largura de banda requerida: os diferentes codificadores de voz necessitam de diferentes larguras de banda. Por exemplo, o codificador G.723 (5,3kbps) requer 16,3kbps (considerando os cabeçalhos) de largura de banda para cada canal de voz;
- Atraso de processamento: tempo necessário para o DSP e outras componentes de processamento codificarem e decodificarem o sinal de voz;
- *Buffer de jitter*: coleta pacotes de dados até que os pacotes cheguem e possam ser processados em sequência, minimizando o *jitter*;

- Perda de pacotes: perda de pacotes durante compressão e/ou transmissão;
- Cancelamento de eco: mecanismo para cancelar o eco gerado durante a transmissão;
- Controle de volume: capacidade de ajuste da audibilidade da voz.

3.5 Qualidade da Implementação

O desafio é prover um serviço que atinja as expectativas dos usuários da PSTN.

O desenvolvimento e a implementação de técnicas envolvendo as questões de QoS tem melhorado dramaticamente, nos últimos anos, os serviços oferecidos aos usuários de VoIP⁴.

3.5.1 Otimização da Rede

A otimização da rede pode minimizar os atrasos de transporte e perdas de pacotes em uma rede IP.

O atraso ocorre como resultado da propagação do sinal e do número de roteadores a serem percorridos. O atraso é acrescido de aproximadamente 10 ms, toda vez que o pacote é processado por um roteador.

O IETF e outros organismos de padronização estão trabalhando em tecnologias de entrega em tempo real nas redes IP, como RSVP, Diff-Serv e MPLS que oferecem QoS. A combinação de DiffServ e MPLS tem se mostrado muito atraente.

Para que uma rede DiffServ possa manter as suas garantias de qualidade de serviço quando o seu tráfego passa por uma rede IP/MPLS, é necessário estabelecer regras de mapeamento entre as duas tecnologias, isto é, regras de mapeamento dos agregados do DiffServ ou BAs (*Behaviour Aggregates*) sobre os caminhos comutados por rótulos ou LSPs (*Label Switched Path*).

Em um domínio MPLS, uma seqüência de pacotes que segue o mesmo caminho na rede, e recebe, portanto, o mesmo tratamento da rede, pode ser mapeada em um caminho comutado por pacote, LSP. Na entrada do domínio MPLS, o pacote recebe um rótulo associado a um determinado caminho e é encaminhado para o próximo nó da rede. Nos nós intermediários, o encaminhamento do pacote é baseado apenas no valor do rótulo até alcançar o nó de saída, ou nó de egresso do domínio MPLS.

Já no DiffServ, todos os pacotes IP atravessando um enlace e que requerem o mesmo tratamento da rede para atender requisitos de qualidade de serviço constituem uma classe agregada ou um agregado de comportamento ou BA. No nó de entrada do DiffServ os pacotes são classificados e marcados com um DSCP que corresponde ao seu agregado de comportamento. Em cada nó intermediário o DSCP é usado para selecionar o comportamento que deve ser aplicado ao pacote e que define o tipo de escalonamento e as probabilidades de descarte do pacote.

LSRs MPLS não examinam o conteúdo do cabeçalho IP ou o valor do DSCP como requerido pelo DiffServ. Isto significa que o PHB apropriado deve ser determinado do valor do rótulo. O cabeçalho *shim* do MPLS (Figura 3.4) tem um campo chamado EXP de 3 bits. Originalmente foi definido para uso experimental. Este campo suporta oito valores diferentes (2^3) e é usado pelo MPLS para suportar 8 classes DiffServ.

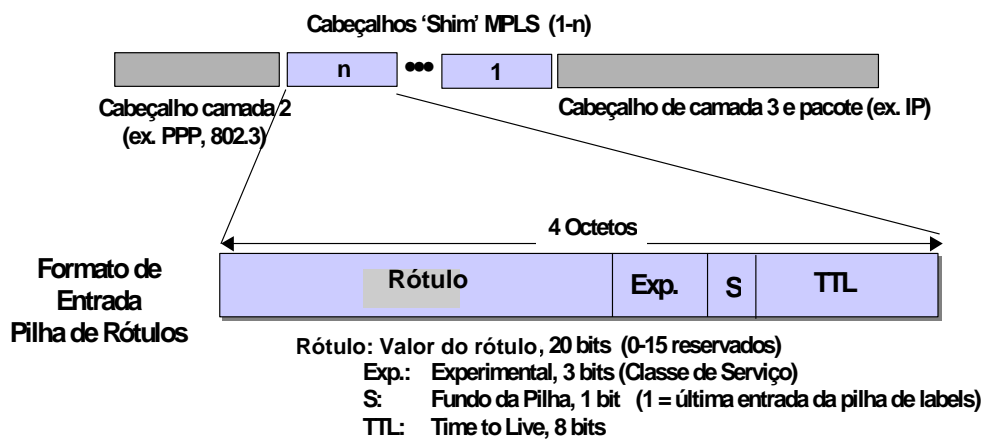


Figura 3.4 - Cabeçalho *Shim*

O campo EXP do MPLS foi originalmente definido para acomodar os 3 bits usados na precedência IP²⁸. O campo DSCP do DiffServ tem 6 bits e pode suportar até 64 classes de serviço.

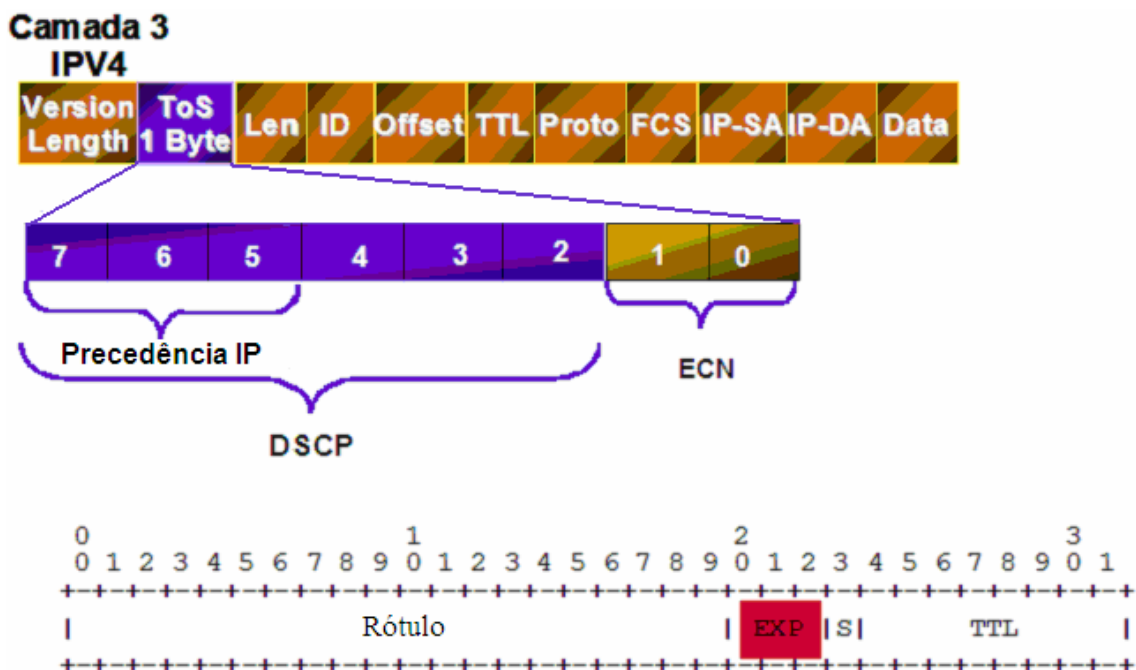


Figura 3.5 - Mapeamento Precedência IP - EXP MPLS

Os 3 bits de precedência IP, ou os 3 primeiros bits do campo DSCP, são copiados no campo EXP MPLS como mostrado na Figura 3.5. Esta ação é tomada na borda da rede. Existem dois métodos de mapeamento, o E-LSP e o L-LSP²⁹.

A solução de mapeamento se baseia em dois tipos de LSPs : E-LSPs e L-LSPs.

3.5.1.1 E-LSP MPLS

LSPs que podem transportar múltiplos agregados : neste caso o campo EXP do cabeçalho *shim* do MPLS diz ao LSR qual PHB deve ser aplicado ao pacote (cobrindo tanto a informação sobre o tratamento da fila do pacote, assim como a precedência de descarte). Vide Figura 3.6.

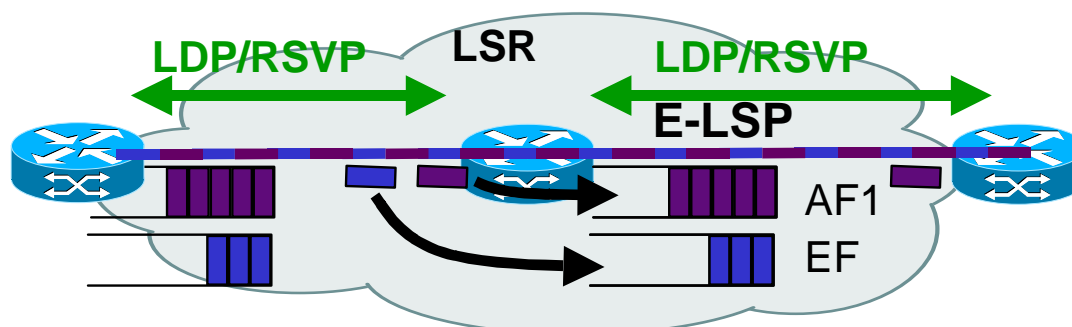


Figura 3.6 - Exemplo de E-LSP MPLS

3.5.1.2 L-LSP MPLS

LSPs que transportam apenas um único agregado : o tratamento de fila do pacote é inferido através do valor do rótulo do pacote, enquanto que a informação de precedência de descarte é traduzida do campo EXP do cabeçalho shim do MPLS, ou de algum mecanismo de descarte seletivo específico do encapsulamento da camada de enlace (ATM, Frame Relay, 802.1). Vide Figura 3.7.

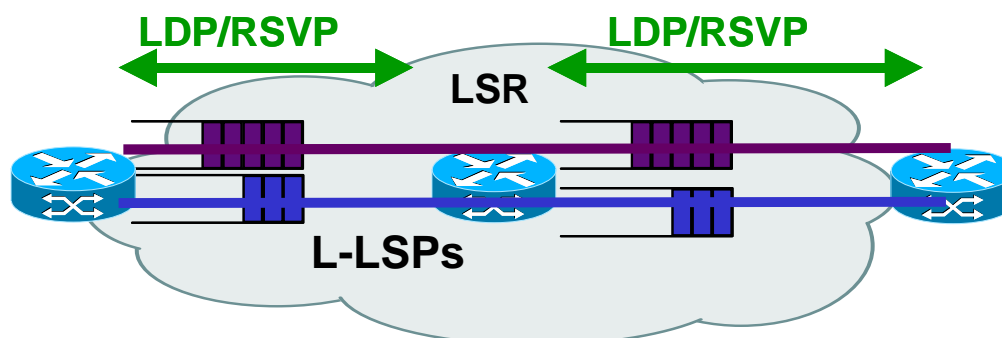


Figura 3.7 - L-LSP MPLS

3.5.2 Otimização de Algoritmos

Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para minimizar os atrasos. Dentre as muitas áreas para melhorias destacam-se a procura por melhores codecs, compressão RTP, cabeçalho IP compartilhado, etc.

O algoritmo G.729 é executado a 8kbps, com um atraso total de 35ms. Fornecendo uma qualidade boa, é ideal para aplicações que requerem alta qualidade de codificação de voz com atraso pequeno.

O H.323v1 foi o primeiro padrão para VoIP, incluindo algoritmo de transmissão e compressão e mais o RTP. As versões posteriores tornaram, por exemplo, mais rápido o estabelecimento da chamada

e a sinalização. Novos padrões, tais como MGCP, MEGACO e SIP estão sendo implementados para assegurar a qualidade do processamento da chamada. Tais protocolos de sinalização para VoIP serão discutidos no próximo capítulo.

3.5.3 Controle do *Buffer de Jitter*

O método mais comum de remover *jitter* é a coleta dos pacotes, mantendo-os até que os pacotes atrasados cheguem e possam ser executados na sequência e na cadência corretas, o que é conhecido como *buffer de jitter* (o qual causa um atraso adicional).

Na maioria das transmissões de VoIP, um carimbo de sequência é incorporado nos pacotes, sendo utilizado no destino, para recompor os pacotes na sequência correta.

Duas medidas de controle podem ser usadas para minimizar o atraso criado pelo *buffer de jitter*:

- Medir a variação do nível dos pacotes no buffer de jitter durante um período de tempo e aumentar o tamanho do buffer incrementalmente para adaptá-lo ao *jitter* calculado. Este método trabalha melhor em redes IP com desempenho de *jitter* consistente.
- Contar o número de pacotes que chegam atrasados e criar uma taxa desses pacotes em relação ao número de pacotes que são processados com sucesso. Esta taxa é então usada para ajustar o *buffer de jitter* e obter uma taxa de pacotes com atraso dentro de um valor pré-determinado. Este método trabalha melhor em redes IP com intervalos entre chegadas de pacotes altamente variável.

As duas medidas de controle são baseadas na possibilidade de testar e medir precisamente o nível de jitter na rede. O *buffer de jitter* aumenta significativamente o atraso em até 100ms em algumas redes IP.

Controlar o *buffer de jitter* tem o objetivo explícito de minimizar o atraso causado pelo *buffer de jitter* e, ao mesmo tempo, minimizar o impacto do *jitter* na transmissão.

3.5.4 Compensação de Perda de Pacotes

A perda de pacotes é muito crítica para a QoS da telefonia em redes IP. Várias técnicas foram desenvolvidas para minimizar essa perda:

- Interpolar os pacotes perdidos pela substituição do último pacote recebido durante o intervalo de tempo criado pelo pacote perdido. Este método simples preenche o tempo entre quadros de voz não contínuos e funciona bem quando a incidência de perda de pacotes é pouco freqüente. Entretanto, não é um método eficiente quando os pacotes são perdidos em série³⁰.
- Enviar informação redundante às custas de utilização de largura de banda. Este método tem a vantagem de ser capaz de corrigir exatamente o pacote perdido. Entretanto, esta técnica usa mais largura de banda e pode resultar em maior atraso.
- Um método híbrido usa codificador de voz em baixa taxa para prover informação redundante conduzida pelo (N+1)-ésimo pacote. Este método reduz a necessidade de largura de banda extra, mas falha na resolução do problema de atraso.

3.5.5 Cancelamento de Eco

VoIP representa um desafio único para o problema de cancelamento de eco. O cancelamento de eco não é realizado na PSTN local, já que os circuitos são muito curtos para que o eco seja perceptível.

A telefonia IP confia na PSTN local onde o cancelamento de eco não é realizado para acessar os *gateways* PSTN/IP. Entretanto, a chamada fisicamente atravessa uma longa distância em redes IP, sendo tão vulnerável ao problema do eco quanto as conexões de longa distância da PSTN.

Os *gateways* da rede IP devem possuir um mecanismo de cancelamento de eco. O eco é gerado a partir da rede de circuitos para a rede de pacotes. Para controlar o eco, os dados de voz recebidos da rede de pacotes são comparados com os dados de voz transmitidos na rede de pacotes. O eco da híbrida da rede telefônica é removido por um filtro digital no caminho de transmissão para a rede de pacotes.

3.5.6 Tratamento de DTMF

A maioria das aplicações de VoIP utilizam detecção e regeneração de tons DTMF. Uma arquitetura *software* DSP otimizada é essencial para suportar a operação dessa funcionalidade, minimizando atraso e perda de pacotes.

3.6 Resumo

Para desenvolver o mercado para VoIP, fabricantes e provedores de serviço estão empreendendo esforços no sentido de fornecer uma QoS aos usuários semelhante à da PSTN, ambicionando ir muito além disso, em um futuro não muito distante. Construir ferramentas para medir precisamente a QoS para redes VoIP é uma parte crítica deste esforço, no sentido de analisar a qualidade da chamada e assistir aos provedores de serviço, para que possam gerenciar a qualidade de suas redes IP.

A qualidade fim-a-fim depende de muitas variáveis. Muito se tem pesquisado nesse sentido e muito ainda se deve avançar, como pode ser visto na literatura.

A Figura 3.8 a seguir ilustra, esquematicamente, a relação entre a otimização da qualidade e os fatores que afetam a qualidade de serviço em VoIP⁴.

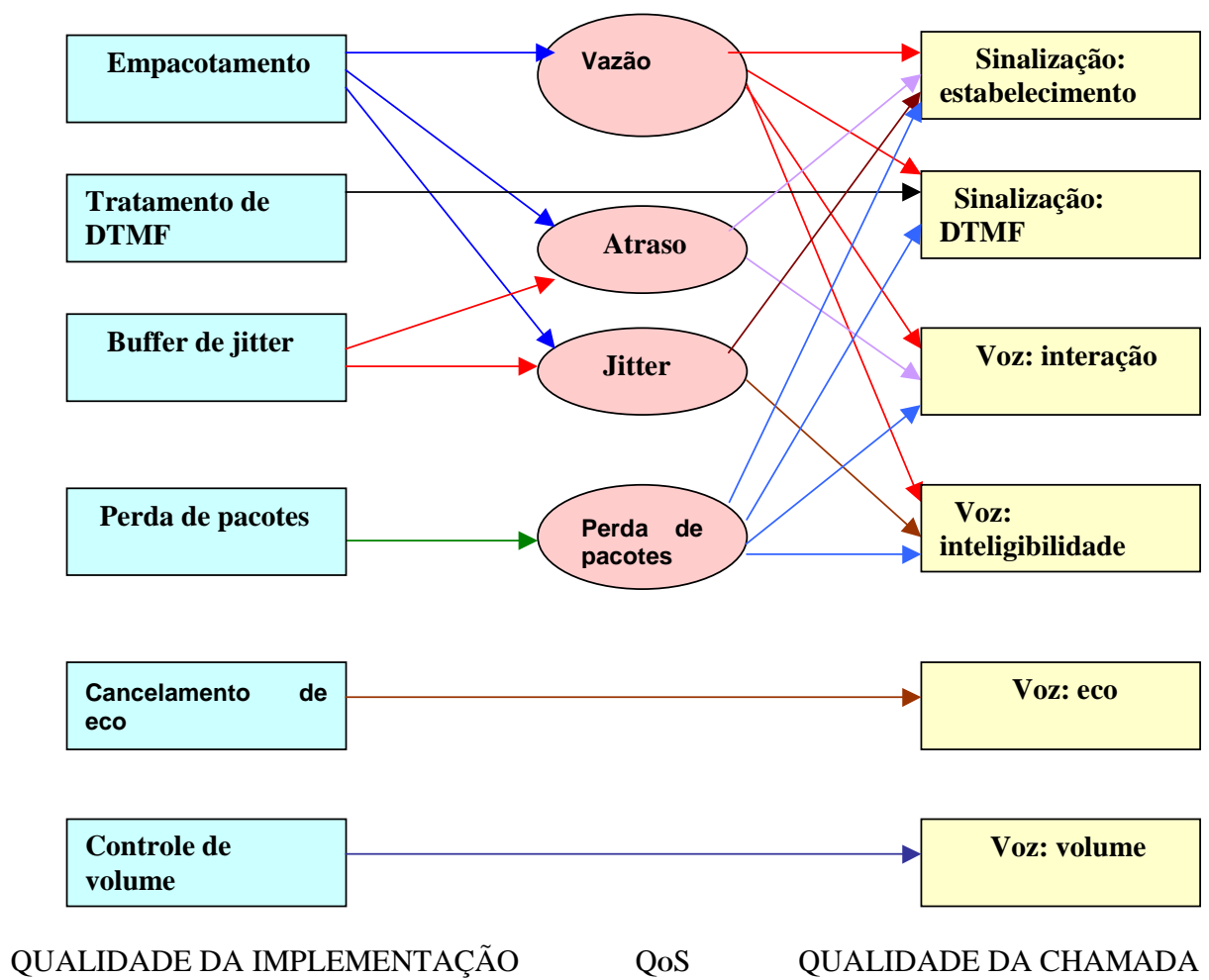


Figura 3.8 – Otimização da qualidade da voz em redes IP⁴

Referências Bibliográficas

- ¹ J. G. A. Barbedo, “Avaliação objetiva de qualidade de sinais de áudio e voz”, Tese (Doutorado), FEEC/UNICAMP, 2004.
- ² ITU-T Recommendation P.800 (1996): “Methods for subjective determination of transmission quality”.
- ³ ITU-T Recommendation P.830 (1996): “Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs”.
- ⁴ “NeTrue IP Telephony QoS Solutions”, white paper, 1999. www.nettrue.com/Products-Strategy/QoS-Description/qos-description.html.
- ⁵ J. G. Beerends and J. A. Stemerdink, “A Perceptual Speech Quality Measure Based on a Psychoacoustic Sound Representation”, *J.Audio Eng.Soc.*42: 115-123, March 1994.
- ⁶ ITU-T Recommendation P.861 (1996): “Objective Quality Measurement of Telephone-Band (300-3400 Hz) Speech Codecs”.
- ⁷ ITU-T Recommendation P.50 (1999): “Artificial voices”.
- ⁸ J.G. Beerends, E.J.Meijer and A.P.Hekstra, "Improvement of the P.861 Perceptual Speech Quality Measure", Contribution COM 12-20 to ITU-T Study Group 12, December 1997.
- ⁹ Stephen D. Voran, "Objective Estimation of Perceived Speech Quality Using Measuring Normalizing Blocks", NTIA Report 98-347, National Telecommunications and Information Administration, U.S. Dept. of Commerce, April 1998.
- ¹⁰ D. J. Atkinson, "Proposed Annex A to Recommendation P.861", ITU-T Study Group 12 Contribution 24 (COM 12-24-E), International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, December 1997.
- ¹¹ J. Anderson, "Methods for Measuring Perceptual Speech Quality", white paper, Agilent Technologies, 2001.
- ¹² “PAMS - Objective speech quality assessment”, Psytechnics, 2000, www.psytechnics.com/f_intrusive.html.
- ¹³ ITU-T Recommendation P.862 (2001): “Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assesment of narrow-band telephone networks and speech codecs”.
- ¹⁴ http://www.psytechnics.com/sol_pesq.html
- ¹⁵ ITU-T Recommendation G.107 (2000): “The E-model, a computational model for use in transmission planning”.
- ¹⁶ J. Q. Walker, "A Handbook for Successful VoIP Deploiment: Network Testing, QoS, and More, NetIQ Corp., 2002.
- ¹⁷ ITU-T Recommendation P.563 (2004): “Single Ended Method for Objective Speech Quality Assessment in Narrow-Band Telephony Applications”.
- ¹⁸ A. Wittmann, “Assuring VoIP Quality: Not There Yet”, *Network Magazine*, January 2005.
- ¹⁹ P. Morrissey, “How To Measure Call Quality”, *Network Computing*, Fev. 2005.
- ²⁰ J. Martins, “Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos”, set/1999.
- ²¹ ETSI TS 102 024-2 V4.1.1 (2003-09) : “Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) Release 4; End-to-end Quality of Service in TIPHON Systems; Part 2: Definition of Speech Quality of Service (QoS) Classes”.
- ²² ETSI TR 101 329 v2.1.1 (1999-06) – “Telecommunications and Internet Protocol Harmonization over Networks (TIPHON); General Aspects of Quality of Service (QoS)”.
- ²³ ITU-T Recommendation Y.1540 (12/2002): “Internet protocol data communication service – IP packet transfer and availability performance parameters”.
- ²⁴ ITU-T Recommendation G.109 (1999): “Definition of categories of speech transmission quality”.
- ²⁵ ITU-T Recommendation G.114 (2003): “One-way transmission time”.
- ²⁶ ETSI TS 101 329-2 v1.1.1 (2000-07) – “Telecommunications and Internet Protocol Harmonization over Networks (TIPHON); End to End Quality of Service (QoS) in TIPHON Systems; Part 2: Definition of Quality of Service (QoS) Classes ”.
- ²⁷ ETSI TR 101 329-1 v3.1.1 (2000-07) – “Telecommunications and Internet Protocol Harmonization over Networks (TIPHON); End to End Quality of Service (QoS) in TIPHON Systems; Part 1: General aspects of Quality of Service (QoS).
- ²⁸ Vivek Alwayn, “Advanced MPLS Design and Implementation”, Cisco Press, 2002.
- ²⁹ F. Le Faucheur et al, “RFC 3270 Multi-Protocol Label Switching (MPLS) Support of Differentiated Services”, May 2002.
- ³⁰ P. H. M. Santos, “Mehoria da Qualidade de Fala Através da Interpolação de Parâmetros do Codec GSM-AMR em Redes de Pacotes”, dissertação de mestrado, FEEC/UNICAMP, 2004.

Capítulo 4

Protocolos de Sinalização para VoIP

4.1. Introdução

Diversos fornecedores de equipamentos de comutação de voz sobre pacotes iniciaram suas implementações baseadas na arquitetura de rede no protocolo padrão H.323, definido pelo ITU-T em 1996, para o interfuncionamento com a rede IP. Porém, com a evolução das redes, alguns fatores levaram a utilizar outras soluções: a complexidade e o tamanho do H.323 que resultam em desperdício com os cabeçalhos, pouco desempenho do protocolo, dificuldade de escalabilidade e, principalmente, devido ao fato do padrão não ter sido idealizado para interfuncionamento com redes públicas de voz e sim para comunicação multimídia e videoconferência sobre redes puramente IP.

Com o surgimento dos protocolos H.248 do ITU-T e Megaco do IETF (que posteriormente estes organismos uniram os esforços para a padronização do Megaco/H.248) e MGCP (*Media Gateway Control Protocol*) do IETF – aprovado em junho de 1999 e também submetido ao grupo TIPHON do ETSI a maior parte dos fabricantes de equipamentos convergiu para arquitetura de controle centralizado das chamadas através de um novo elemento de rede denominado Servidor de Chamadas (em inglês, *Call Agent* ou *Call Server* ou *Media Gateway Controller* ou *Softswitch*). Pode ser utilizado tanto em redes IP como ATM e apenas complementa as especificações dos protocolos de sinalização SIP (*Session Initiation Protocol*, também do IETF) e H.323, que concorrem entre si para o interfuncionamento entre a PSTN e a rede IP.

Numa chamada de voz sobre a rede IP, por exemplo, dois tipos de comunicação são efetuados: o caminho onde a voz “empacotada” é transportada entre a origem e o destino, e o caminho das mensagens de sinalização que controlam o estabelecimento e as características do caminho da voz.

No primeiro caso, independentemente da arquitetura de rede, é sempre utilizado o protocolo RTP (*Real Time Transport Protocol*) entre os *Gateways*-Tronco ou entre um deste e um terminal IP diretamente. Nos *gateways* a voz é mapeada em pacotes e comprimida em quadros de tamanhos definidos ou, no sentido inverso, é convertida de pacotes para voz.

O protocolo de sinalização utilizado para trocar informações do estado das chamadas e negociar parâmetros das conexões entre a origem e destino pode ser tanto o SIP (mais utilizado) como o H.323 dependendo da arquitetura de rede implementada. Normalmente um destes protocolos é utilizado entre os Servidores de Chamadas ou entre o Servidor de Chamadas e qualquer terminação IP diretamente (quando uma das terminações não é da PSTN).

Cada protocolo tem seus pontos fortes e fracos com relação a questões tais como: facilidade de implementação, extensibilidade e adequabilidade para várias aplicações de rede, qualidade de serviço (QoS) e segurança. A rede de próxima geração (NGN – *Next Generation Network*) pode incluir um ou mais desses protocolos.

4.2. H.323

O protocolo H.323 foi desenvolvido pelo ITU-T (primeira versão em 1996)¹ e permite a interoperabilidade de produtos VoIP, pois resolve o problema das soluções proprietárias. Foi inicialmente direcionado para conferência multimídia em redes locais (LANs) que não provêem garantia de QoS².

4.2.1. Arquitetura

Uma rede H.323 típica é composta de uma ou mais zonas interconectadas via uma rede IP de transporte. Cada zona consiste de um único *gatekeeper* (GK), terminais (TEs), *gateways* (GWs) e Unidades de Controle Multiponto (MCUs) interconectados numa LAN (vide Figura 4.1).

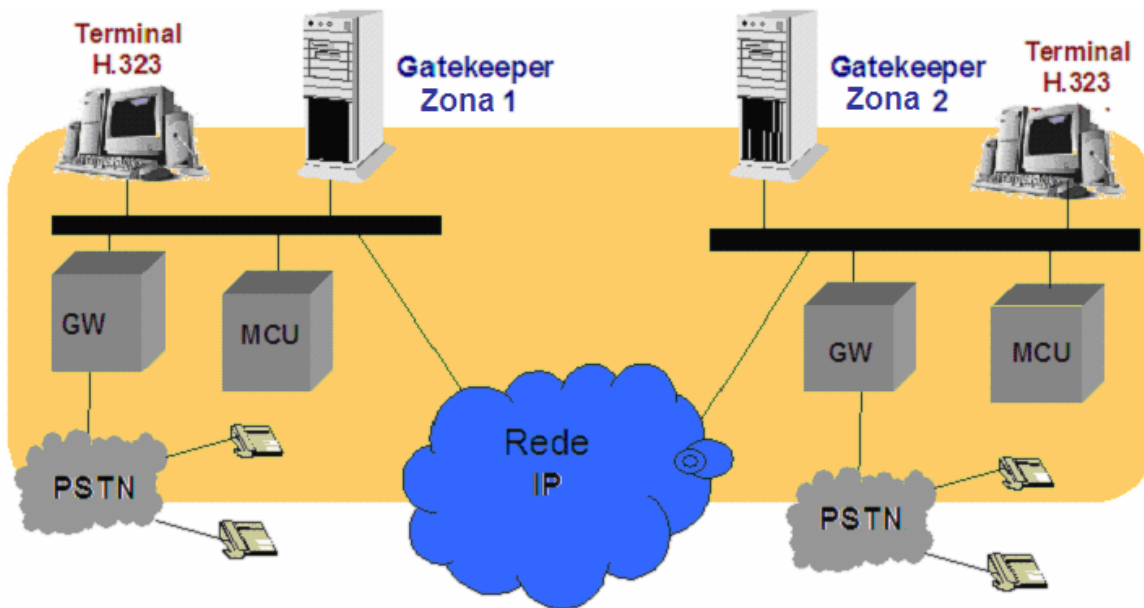


Figura 4.1 - Arquitetura H.323

Uma zona pode ter uma ou várias LANs. O único requisito é que cada zona contenha somente um GK que age como administrador da zona.

Os componentes do H.323 têm as seguintes funcionalidades:

- **Terminal (TE)** – é o elemento de rede que provê comunicação tempo real nos dois sentidos com um outro terminal H.323, ou GW ou MCU (denominados pontos terminais (*endpoints*)). Esta comunicação consiste de controle, indicações, áudio, vídeo e/ou dados entre estes. Um terminal pode estabelecer uma chamada com outro terminal diretamente ou via GK. Exemplos de terminais: telefone, videofone, dispositivo IVR (*Interactive Voice Response*), sistema de correio de voz (*voicemail*), telefone em software (*NetMeeting* da Microsoft, por exemplo);
- **Gatekeeper (GK)** – é a entidade que provê a tradução de endereços e o controle de acesso aos terminais TE, GWs e MCUs; também provê o gerenciamento de largura de banda e localização dos GWs;
- **Gateway (GW)** – é o elemento da rede que provê comunicação tempo real entre TEs da rede de pacotes e Terminais da PSTN;
- **Unidade de Controle Multiponto (MCU)** – é um elemento que provê a capacidade de três ou mais TEs e GWs participarem de uma conferência multiponto;
- **Elementos de Borda (BE)** - frequentemente são colocados juntos a um *gatekeeper* trocando informação de endereçamento e participam na autorização da chamada entre domínios administrativos. Podem agregar a informação de endereço para reduzir o volume de informação de roteamento trafegado na rede. Os elementos da borda podem ajudar na autorização/autenticação da

chamada diretamente entre dois domínios administrativos ou através de um “*clearinghouse*”. Os elementos pares (peer) são como "elementos de borda", mas residem no interior do Domínio Administrativo.

4.2.2. Sinalização e Controle

O H.323 compõe-se de diversos protocolos:

- **Registration, Admission and Status (RAS)** – O RAS é um protocolo orientado a transação entre um elemento H.323 (TE ou GW) e um GK. Um elemento pode usar o RAS para descobrir um GK, registrar/desregistrar em um GK, requisitar permissão para a chamada, requisitar alocação de banda e desconexão da chamada. O RAS é usado somente quando o GK está presente;
- **Q.931** – Q.931 é um protocolo de sinalização para estabelecimento e finalização de chamadas entre dois TEs e é uma variação do protocolo Q.931 definido para a PSTN. O H.323 usa um subconjunto das mensagens Q.931 do RDSI (ISDN);
- **H.245** – O H.245 é utilizado para controlar as conexões, permitindo que dois elementos negociem a capacidade de processamento da rede tais como codecs áudio/vídeo para cada canal entre tais elementos. No contexto H.323 o H.245 é usado para alterar as capacitações do terminal, determinar a relação mestre-escravo entre dois elementos e abrir e fechar canais lógicos entre os elementos;
- **H.225** - é utilizado para o estabelecimento da conexão entre os pontos terminais (*endpoints*);
- **Real Time Transport Protocol (RTP)** – O RTP é o protocolo que carrega os pacotes de voz no H.323 e é usado junto com o Real-Time Transport Control Protocol (RTCP);
- **H.332** – é útil para grandes conferências;
- **H.450** - para os serviços suplementares.

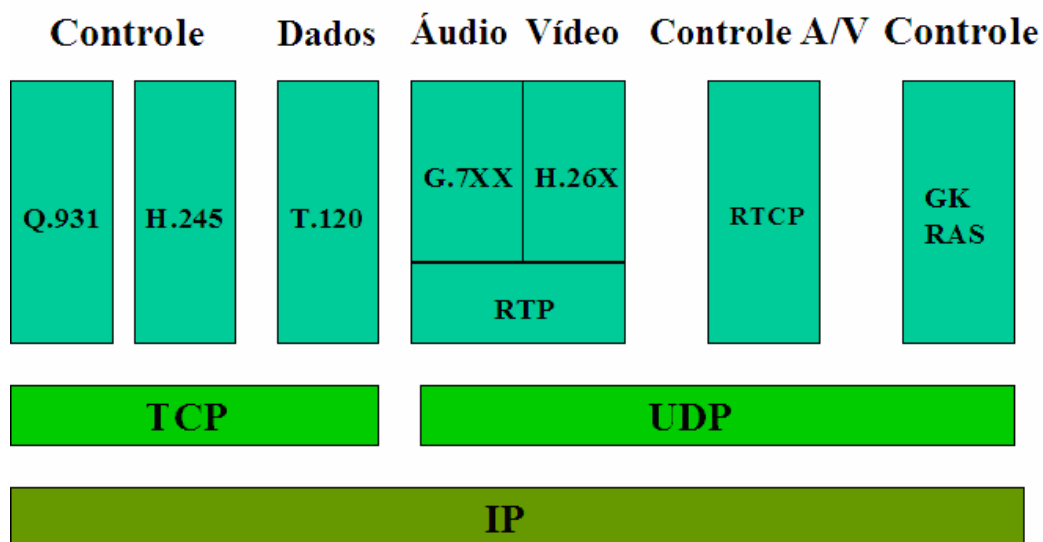


Figura 4.2 - Relacionamento dos Protocolos no H.323²

A Figura 4.2 mostra os relacionamentos dos vários protocolos no H.323 e a Tabela 4.1 e a Figura 4.3 mostram, de forma simplificada, as 7 fases de uma chamada quando o GK é utilizado. Quando o GK não está envolvido as fases 1 e 7 não existem.

Tabela 4.1 - Fases de uma chamada H.323²

Fases		Protocolo	Função
1	Permissão para a Chamada	RAS	Solicita permissão ao GK para fazer/receber chamadas. Ao final desta fase o elemento chamador recebe o endereço Q.931 (end. IP) do elemento chamado.
2	Estabelecimento da Chamada	Q.931	Estabelece a chamada entre dois elementos, o elemento chamador recebe o endereço H.245 do elemento chamado.
3	Negociação das capacidades dos elementos e estabelecimento de canal lógico	H.245	Negocia as facilidades dos elementos. Determina o relacionamento mestre/escravo. Abre os canais lógicos entre os elementos. Ao final desta fase os elementos conhecem os endereços RTP/RTCP um do outro.
4	Conversação	RTP	As duas partes conversam.
5	Fechamento dos canais	H.245	Fechamento dos canais lógicos.
6	Desligamento da chamada	Q.931	Desligamento da Chamada
7	Liberação da chamada	RAS	Libera os recursos utilizados na chamada.

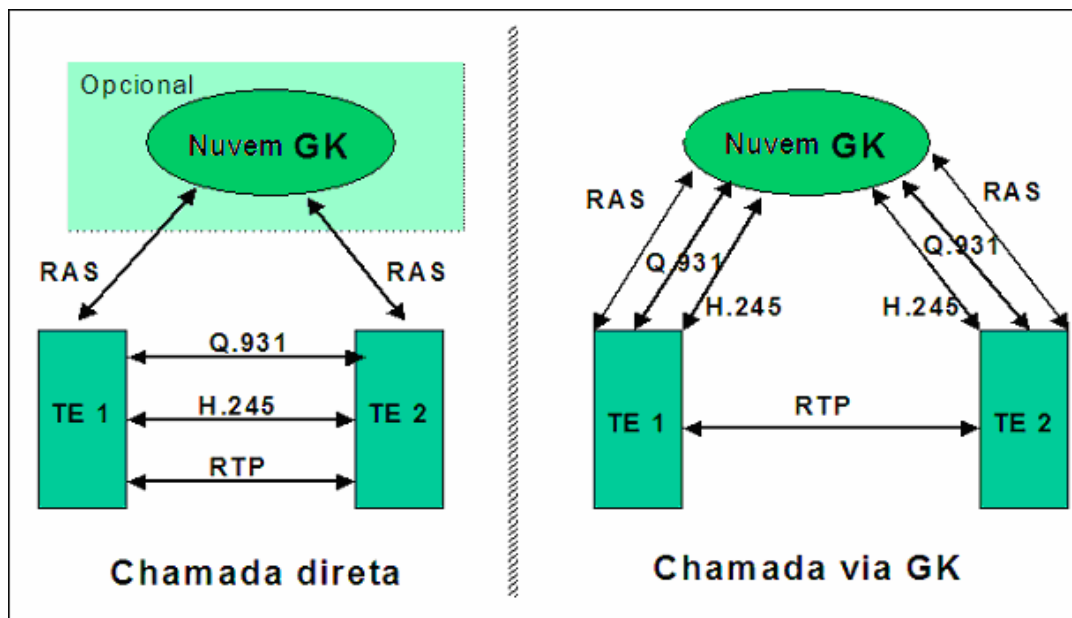


Figura 4.3 - Chamada direta e via GK no H.323²

4.2.3. Serviços

O H.323 v.1 definiu somente controle básico de chamada e sinalização para estabelecer conferência multimídia multiponto em redes locais. Para permitir o aprimoramento dos serviços no H.323, criou-se a série H.450 que especifica serviços suplementares similares aos disponíveis na PSTN.

Em maio de 2003 o ITU-T aprovou a versão 5 que se concentrou na "robustez" do protocolo (*hardening*), ou em estabilizar as características do núcleo (parte principal do protocolo). Este esforço começou com a versão 4, mas é o foco principal na versão 5. Novas características poderão ser desenvolvidas através de extensões do protocolo base com a expectativa de poucas mudanças no núcleo do protocolo³.

O H.323 está rapidamente perdendo espaço para o SIP devido as suas limitações. Entretanto o padrão H.323 tem evoluído para acomodar as necessidades da telefonia IP, incluindo aumento da eficiência e suporte a serviços adicionais⁴.

4.2.4. Interconexão H.323 e PSTN

A interconexão do H.323 com a PSTN usualmente envolve três tipos de cenários de estabelecimento de chamadas: TE para telefone convencional, telefone convencional para TE e telefone convencional para telefone convencional via rede H.323. A conexão da PSTN à rede IP envolve o GW que provê as seguintes funcionalidades:

- **Interfaces PSTN** – Esta função inclui as interfaces de sinalização onde chegam os protocolos como o ISDN Q.931, e a interface de acesso ao meio PSTN onde chegam os fluxos de dados, tais como o PCM de voz.
- **Interfaces VoIP** – Esta função inclui a interface VoIP onde chegam os pacotes H.323 de sinalização (RAS, Q.931 e H.245), e pacotes RTP de voz.
- **Conversão da Sinalização** – Esta função traduz a sinalização ISDN Q.931 e H.323 Q.931 para o controlador de chamadas.
- **Transformação do Meio de Comunicação** – Esta função traduz o fluxo de voz PCM (circuito) em fluxo de voz RTP (pacote) e vice-versa.
- **Gerenciamento de Conexões** – O GW deve coordenar o fluxo de sinalização com a tradução do meio de acesso. Isto envolve criar, modificar e desfazer associações entre as conexões PSTN e IP durante a chamada.

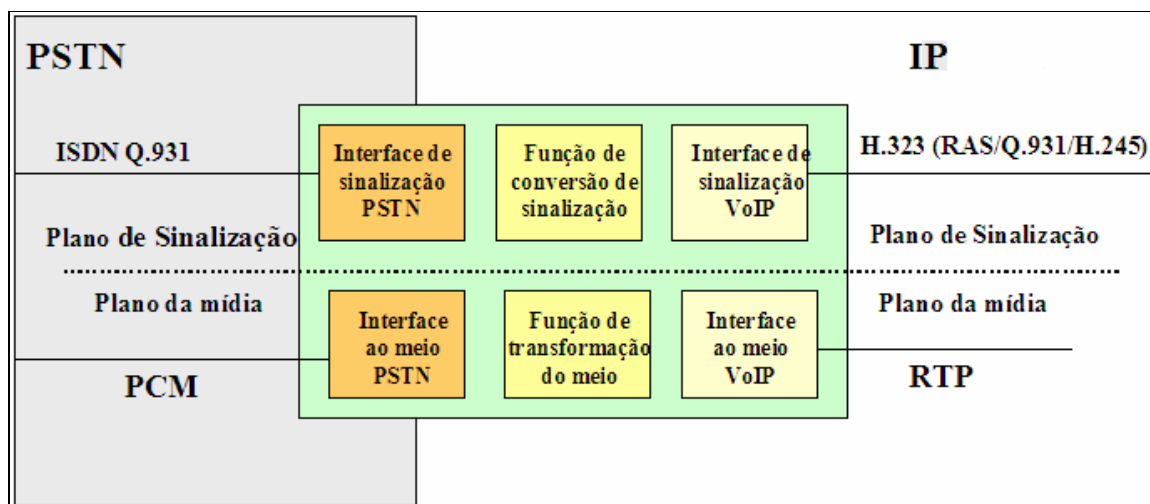


Figura 4.4 - Componentes do *Gateway* conectando as redes PSTN e IP²

4.3. MGCP – *Media Gateway Control Protocol*

O MGCP é um protocolo desenvolvido pelo IETF (RFC 2705⁵) que controla as conexões. O MGCP separa as funções de processamento das chamadas (que são baseadas em *software*) das funções de tratamento dos fluxos de dados dos usuários (que são baseados em hardware). As duas funções foram distribuídas entre o servidor de chamada (*softswitch*), que controla o processamento de chamadas e o *gateway* de mídia que processa o fluxo de voz IP.

Deve ser utilizado em conjunto com um protocolo de sinalização, por exemplo, H.323 ou SIP. Pode ser utilizado em redes TDM, ATM ou IP.

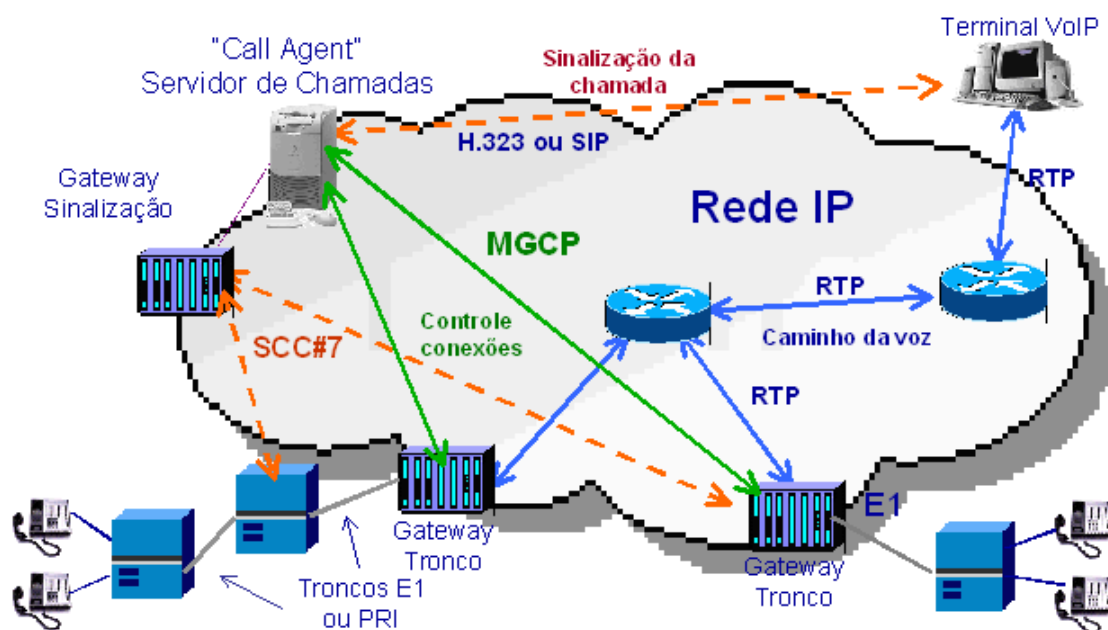
4.3.1. Arquitetura

O MGCP baseia-se no modelo cliente-servidor no qual os gateways devem executar os comando enviados pelos servidores de chamada. A inteligência encontra-se na rede e os terminais são dispositivos de baixo poder de processamento.

O MGCP define os seguintes elementos:

- **Media Gateway (MG)** – Processa a conversão dos fluxos de dados de voz (media stream) do formato da rede de circuitos (TDM) para o formato da rede de pacotes.
- **Media Gateway Controller (MGC)** ou **Call Agent (CA)** ou **Call Server (CS)** ou **Softswitch (SS)** – Gerencia as conexões na rede de pacotes (funcionalidade de controle de chamadas).
- **Signaling Gateway (SG)** – É a interface para a rede de sinalização # 7 (SS7) da rede de circuitos.

O MGCP é utilizado entre o Servidor de Chamadas (centralizado na rede) e localizado na camada de controle, e os diversos *gateways* localizados na camada de comutação e interligados às centrais de comutação de voz convencionais (CPA-Ts). A função de sinalização das chamadas telefônicas, quando realizadas com a sinalização por canal comum, é feita por intermédio de pelo menos um *gateway* de sinalização na rede que converte a sinalização SS7 recebida de várias centrais de comutação em protocolo IP ou vice-versa. Vide Figura 4.5.



Os *gateways*, que convertem a voz em pacotes ou vice-versa, cumprem portanto as ordens dadas pelo servidor de chamadas, que envia comandos do tipo criar, desfazer ou modificar conexões a partir dos pontos de origem e destino da chamada onde os *gateways* estão conectados. Estes comandos passam parâmetros do tipo número da porta, tipo do serviço e endereço IP das terminações na rede IP ou informações equivalentes na rede ATM.

Para as chamadas de voz com sinalização telefônica por canal associado que chegam aos *gateways*, o MGCP fornece apenas os meios para que o Servidor de Chamadas ordene o Gateway a detectar ou gerar estes eventos.

As vantagens de se ter uma arquitetura baseada em servidor de chamadas são:

- § Otimização da rede através da centralização no servidor de chamadas das funções de controle das várias conexões realizadas entre os extremos que desejam enviar e receber a voz sobre dados;
- § Facilidade para a prestadora poder controlar e gerenciar as chamadas de voz que trafegam pela rede;
- § Escalabilidade da rede, pois permite a expansão da mesma pela simples inclusão de novos *gateways*-tronco e sinalização que serão controlados pelo mesmo servidor de chamadas em uma determinada área atendida permitindo um crescimento gradual da rede VoIP;
- § Simplificação das funções dos *gateways*, pois o servidor de chamadas assume as funções de controle e sinalização das conexões, implementadas por *software*, que antes eram realizadas nos *gateways*;
- § Facilidade de implementar novos protocolos de sinalização e serviços na rede devido à centralização do servidor.

A arquitetura de rede baseada no servidor de chamadas (*Call Server*) e no protocolo MGCP se adapta para manter a PSTN em operação por mais alguns anos e ao mesmo tempo conviver harmoniosamente com a introdução da nova rede multiserviço baseada em IP ou ATM.

4.4. MEGACO / H.248

O MEGACO/H.248⁶ foi padronizado pelo IETF e ITU-T e é um protocolo que estende o *Media Gateway Control* para incluir um modelo de conexão independente do transporte, suporte a serviços mais avançados (ex. conferência multimídia) e suporte para operações nos países.

Tradicionalmente os protocolos entre o controle da central e os periféricos são proprietários. Padrões como o TR-303 (GR-303)⁷ e V5⁸ abrem esta interface, mas sua aplicabilidade é limitada⁹. Somente com o desenvolvimento de arquiteturas de interfaces abertas propicia a elaboração de padrões globais para os protocolos que atuam entre um dispositivo que recebe e manipula os fluxos de dados de voz (*Media Gateway – MG*) e um outro dispositivo que o controla (*Media Gateway Control – MGC*).

O conceito de *gateway* decomposto tem larga aplicabilidade, pois os MGs podem ser colocados em qualquer ponto no caminho da chamada: de um telefone IP ou modem faixa larga (bem na borda da rede) até o seu núcleo (Figura 4.6).

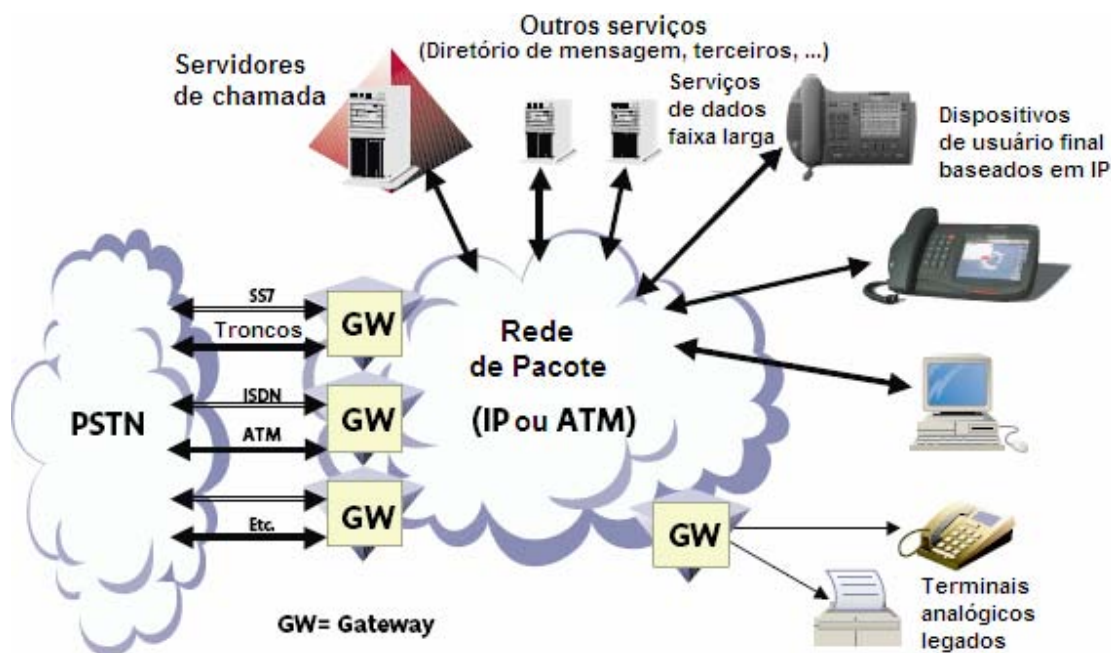


Figura 4.6 - Topologia da rede Megaco/H.248¹⁰

4.4.1. Arquitetura Megaco/H.248

A Figura 4.7 mostra a arquitetura¹⁰ Megaco/H.248 baseada nas camadas do *Media Gateway Control* (MGC) e *Media Gateway* (MG) e o protocolo Megaco/H.248.

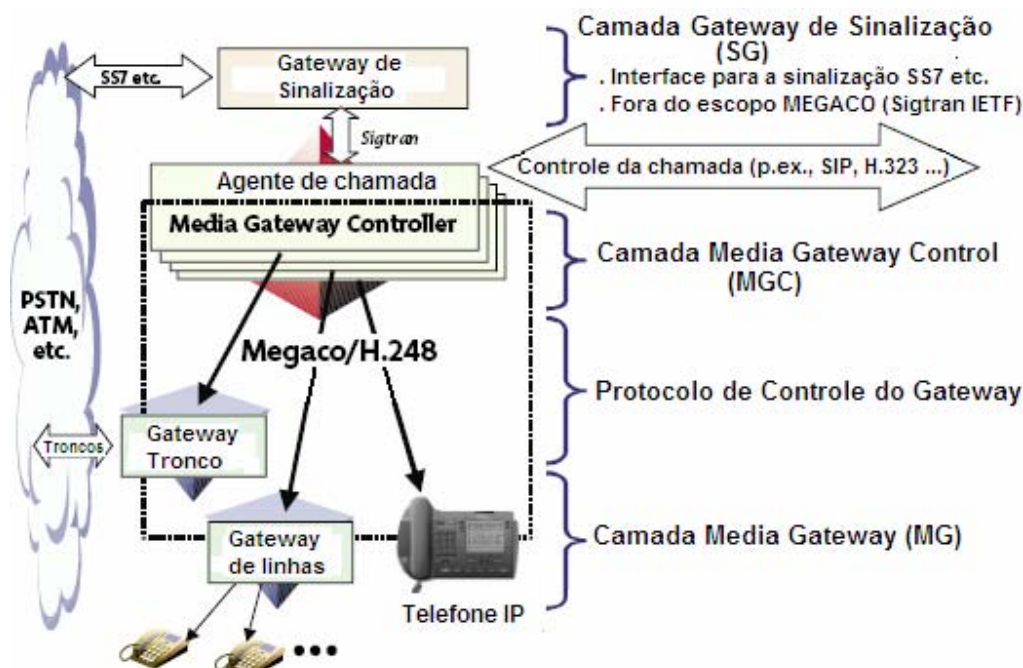


Figura 4.7 - Arquitetura do Megaco/H.248¹⁰

- **Camada MGC** – Contém toda a inteligência do controle de chamadas, tais como transferência, transferência automática, conferência e chamada em espera. Esta camada também implementa protocolos para interagir com outros MGCs ou entidades do mesmo nível, e gerencia qualquer interação com sinalização tais como a SS7.
- **Camada MG** – Implementa as conexões na rede de pacotes (IP ou ATM), interage com as conexões através de sinais e eventos e também controla características, como a interface com o usuário. Esta camada não conhece as características da chamada e age como simples escravo.
- **Protocolo Megaco/H.248** – Suporta controle Mestre/Escravo entre MG e MGC. Provê controle de conexão, controle de dispositivo e configuração de dispositivo.

Conceitos Chaves: Provê dois conceitos básicos: Terminação e Contexto.

- **Terminação** – representa as conexões na rede de pacotes, implementa sinais e gera eventos, tem propriedades e mantém dados estatísticos. Pode ser permanente (provisionado) ou transiente (efêmero). Todos os sinais, eventos, propriedades e estatísticas são definidos em pacotes de programa que são associados com as Terminações.
 - **Sinais e Eventos** – ocorrem em terminações específicas e provêem um mecanismo para interação com entidades remotas representadas pelas terminações. Sinais e eventos específicos são definidos em pacotes de programa. Exemplos de sinais incluem geração de tom, anúncios e mostrar a identificação do chamador. Exemplos de eventos incluem linha ocupada, recepção de dígito DTMF e detecção de tom de modem.
 - **Propriedades** – Pode ser qualquer pedaço de informação que pode ser colocado em um descritor num pedido ou numa resposta. O termo também pode ser usado na definição de pacote de programa onde as propriedades agem como estado, configuração, ou outra informação semi-estática da terminação ao qual o pacote de programa está vinculado.

- **Estatísticas** - Podem ser acumuladas em uma terminação particular e retornar do MG para o MGC para prover informações relevantes para o monitoramento do MG, desempenho da rede ou atividade do usuário. Estatísticas também são definidas em pacotes de programa. Exemplos: duração de uma terminação em um contexto; taxa de perda de pacotes e outras medidas operacionais.
- **Pacotes de Programa** – definem novos comportamentos das terminações via propriedades, sinais, eventos e estatísticas adicionais. Os pacotes de programas são bem definidos e usam o processo de registro *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA). Novos pacotes de programas podem ser definidos baseados em pacotes de programas já existentes, permitindo um desenvolvimento rápido e potencializando a inovação.
- **Perfil** - Define as aplicações do Megaco/H.248 no MG incluindo requisitos e organização de pacotes de programa/terminação, seleções específicas de elementos opcionais (tais como transporte e codificação), e qualquer outra definição de comportamento requerido pela aplicação. Perfis são acordos, no nível da aplicação, entre o MGC e MG que especificam as capacidades mínimas para melhorar a interoperabilidade e reduzir a relação complexidade/custo.
- **Contexto** – Implementa a ponte que associa os fluxos entre as terminações. Na Figura 4.8 o contexto (C) refere-se à associações de um conjunto de terminações (T), e define a comunicação entre as terminações e age como ponte. Um contexto pode conter mais do que uma terminação e pode ser feito por camada para suportar multimídia.

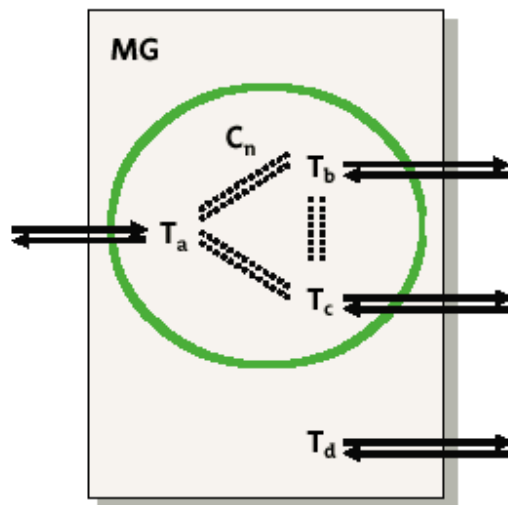


Figura 4.8 - Modelo de Conexões Megaco/H.248¹⁰

- **Comandos** – A estrutura de comandos do Megaco/H.248 é muito simples, porém poderosa e flexível. Existem somente sete comandos: *Add*, *Subtract*, *Move*, *Modify*, *Notify*, *AuditValue/AuditCapabilities* e *ServiceChange*, e todos operam nas terminações de modo consistente.
 - Agrupamento dos comandos em transações, usando regras flexíveis de construção e reduzindo de modo significativo o desperdício com o cabeçalho (*overhead*) das mensagens.

- Comandos usam descritores para agrupar elementos relacionados. Isto aumenta a flexibilidade e mostra de onde vem o dado. Somente descritores necessários para uma operação particular necessitam ser enviados com o comando, reduzindo o *overhead*.
- Mecanismos para prover um método simples, claro e aberto para especificar sinais, eventos, propriedades e estatísticas nas terminações.
- Mecanismos de interoperabilidade definem a organização dos MGs e seleção específica de elementos opcionais para aplicações particulares.

4.4.1.1. Comparação Megaco/H.248 e MGCP

Uma comparação entre o Megaco/H.248 e MGCP é mostrado na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Comparação entre o Megaco/H.248 e MGCP¹⁰

	Megaco/H.248	MGCP
Padronização	<ul style="list-style-type: none"> • Padrão aberto • Compromisso com revisões • Padrão para IETF e ITU 	<ul style="list-style-type: none"> • Fechado (extremamente proprietário) • Não sujeito a revisões
Interoperabilidade <i>multi-vendor</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Completamente revisado e rigoroso • Poucas inconsistências e suposições • Alto potencial de interoperabilidade; baixo risco/custo para a interoperabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Incompleto e informal • Muitas inconsistências e suposições • Baixo potencial de interoperabilidade e aumento do risco/custo para a interoperabilidade
Modelo de conexão	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo terminação-contexto totalmente flexível, suporte a todos tipos de rede • Trata eficientemente complexos cenários de conexão (conferência, consulta, etc.) • Aplicável a todos os tipos de pacotes de rede, mesmo diagrama de serviço para ATM e IP • Permite suporte para interceptação legal (CALEA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo menos flexível • Ineficiente para conferência e outros cenários complexos de conexão • Implementações de serviços diferentes para redes ATM e IP. • Suporte para interceptação legal (CALEA) não é clara.
Modelo de Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Recurso físico é isolado da conexão de pacotes • Trata de modo eficiente os serviços complexos, tais como anúncios e chamada em espera 	<ul style="list-style-type: none"> • Associação entre o recurso físico e conexão de pacotes • Manipulações não são feitas diretamente • Diminuição do desempenho de tempo-real
Mecanismos de extensibilidade do pacote	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil definição de novas interfaces de aplicação através de mecanismos de definição de pacotes totalmente abertos • Novos pacotes podem ser definidos baseados nos já existentes • Permite a extensão dos pacotes sem afetar o protocolo base padrão • Agilidade na criação de novos serviços, aumentando oportunidade para inovação 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificuldade de extensão • Mecanismo de definição de pacotes não é claro • Metodologia para a extensão dos pacotes baseados em pacotes existentes não é clara
Mecanismos de Perfil	<ul style="list-style-type: none"> • Permite definições e acordo implícito entre MGC-MG para aplicações específicas de interfuncionamento • Reduz a complexidade e aumenta eficiência do MG e MGC • Melhora interoperabilidade das aplicações específicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Não disponível

4.5 Session Initiation Protocol (SIP)

SIP¹¹ é um protocolo de camada de aplicação desenvolvido pelo grupo de trabalho *Multiparty Multimedia Session Control* (MMUSIC) do IETF, e foi projetado para prover funcionalidades avançadas de sinalização e controle para os serviços multimídia.

O SIP inicia, modifica e termina as sessões multimídia, fornecendo os meios para o endereçamento e a localização dos membros. Na sessão de estabelecimento o SIP age como protocolo de sinalização com serviços similares ao protocolo de sinalização telefônica Q.931 ou ISUP, porém no contexto IP. O SIP não reserva recursos ou estabelece circuito real ou virtual da rede.

O usuário pode manter a mesma identificação mesmo se conectando em diferentes pontos da rede ou através de outro dispositivo (mobilidade pessoal). A identificação pode ser fornecida pelo provedor de rede, pela operadora de telefonia ou pela afiliação profissional.

4.5.1. Arquitetura

O sistema SIP consiste de dois elementos de rede: Terminais e Servidores¹².

- **Terminais** – Iniciam os pedidos e usualmente são os destinos (ex. telefones IP, Internet, *gateway* com interface para a PSTN);
- **Servidores** – O servidor SIP fornece um ponto único de acesso para localização de usuários, mapeia nomes amigáveis em endereços roteáveis, roteia mensagens de sinalização e solicitação de redirecionamento entre terminais. Existem três tipos de servidores dentro de uma rede:
 - **Servidores de Registro** – Recebem as atualizações a respeito da localização atual dos usuários. Monitora os terminais dentro do seu domínio de rede;
 - **Servidores Proxy** – Aplicação que encaminha os pedidos e respostas SIP. É o único ponto de contato que um terminal possui para as mensagens de sinalização. O SIP define vários tipos de servidores Proxy:
 - **Call-Stateful** – Localizado na borda da rede. Monitora o estado da chamada;
 - **Transaction-Stateful** – Localizado próximo ao núcleo. Monitora as solicitações e respostas, mas não tem conhecimento do estado da sessão ou chamada;
 - **Stateless** – Localizado no núcleo. Recebe solicitações e as encaminha, são servidores mais rápidos.
 - **Servidores de Redirecionamento** – Recebem pedidos e então retornam a localização de outro Terminal ou Servidor onde o usuário poderá ser encontrado.

4.5.2. Mensagens SIP

As mensagens SIP utilizam o *Hyper Text Markup Language* (HTML) e são baseadas no *Hyper Text Transfer Protocol* (HTTP). As mensagens consistem de uma linha inicial especificando o método e o protocolo, campos de cabeçalho que especificam as propriedades da chamada e informações de serviço e um campo opcional que pode conter uma descrição da sessão. Existem dois tipos de mensagens¹³:

- **Request** – contém métodos que indicam a ação solicitada;
- **Response** – indica a saída do método.

Métodos definidos para o *request*:

- **Invite** – Convida um usuário ou serviço a participar de uma chamada e estabelece uma nova conexão. Identifica e localiza um usuário específico;
- **Bye** – Termina uma conexão;
- **Options** – Envia informações sobre capacidades;
- **Ack** – Indica que um “invite” foi aceito;
- **Cancel** – Cancela um pedido pendente;
- **Register** – Informa a localização do usuário ao SIP server. No início é enviado como uma mensagem *multicast*.

SIP *responses* são categorizados em seis diferentes tipos e são identificados por três dígitos do seguinte modo:

- **1XX – Informational** . Pedido recebido e em processamento;
- **2XX – Success**. Ação finalizada com sucesso;
- **3XX – Redirection**. Necessita de mais ações para completar o pedido;
- **4XX – Client Error**. Pedido contém erro de sintaxe ou não pode ser executada pelo servidor;
- **5XX – Server Error**. Erro no Servidor ao tentar executar um pedido aparentemente válido;
- **6XX – Global Failure**. O pedido não pode ser executado em servidores.

A Figura 4.9 esquematiza as mensagens *request* e *response* na arquitetura SIP

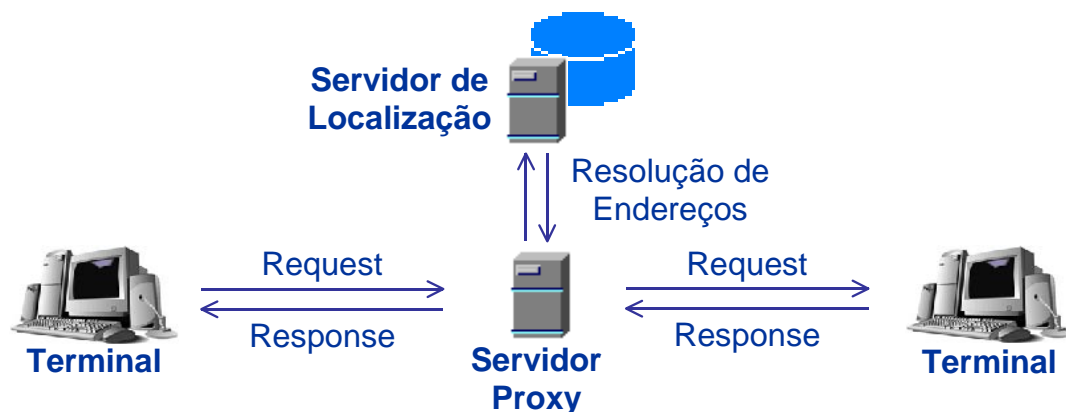


Figura 4.9 - Elementos da arquitetura SIP

4.5.3. SIP, MGCP e MEGACO/H.248

Os *gateways* para a PSTN necessitam executar três tipos de funções diferentes¹⁴:

- Compressão e descompressão de grande quantidade de tráfego de áudio (e outras tarefas de processamento de sinais, como detecção de tom e cancelamento de eco);
- Tradução da sinalização entre as redes PSTN e IP;
- Prover serviços.

A decomposição das funcionalidades do *gateway* PSTN em *Media Gateway*, *Signaling Gateway* e *Media Gateway Controller* mostra-se muito interessante. O MGCP e o Megaco/H.248 são protocolos para conectar o *Media Gateway Controller* e o *Media Gateway*.

Entretanto os *Media Gateways* são limitados a operarem em um único domínio, pois requerem uma única entidade controladora, o *Media Gateway Controller* (MGC). Portanto, há a necessidade de um protocolo *peer-to-peer* para conectar os MGCs; é desejável que os *gateways* possam se comunicar diretamente com terminais inteligentes. Uma das propostas é a utilização do SIP para este papel como mostra a Figura 4.10. Na Figura 4.10 tem-se dois telefones conectados via *gateway* residencial (RGW) agindo como *media gateway*. Um *trunking gateway* (TGW) se conecta à PSTN. Se o usuário do telefone do lado esquerdo quer telefonar para a PSTN, o MGC do lado esquerdo inicia a sinalização de chamada via SIP com o MGC do lado direito para completar a chamada. Os MGCs poderiam usar o MGCP ou Megaco/H.248 para controlar os respectivos *Media Gateways*.

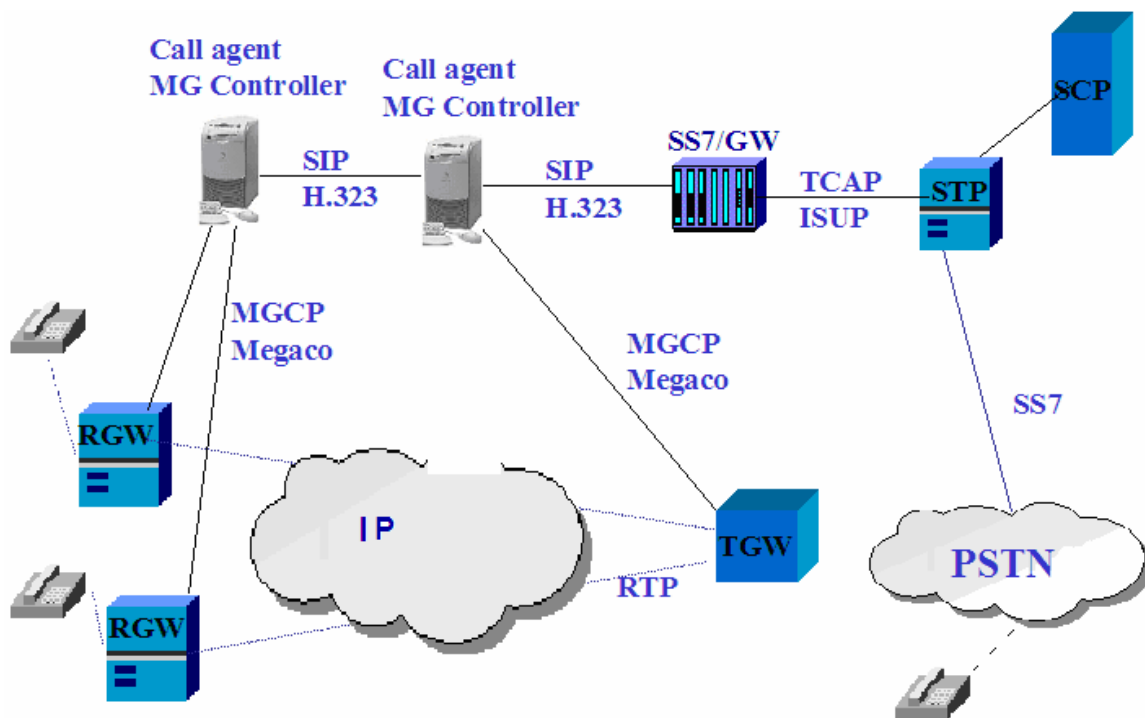


Figura 4.10 - Interação entre MGCP, Megaco e SIP

4.6. H.323 e outros Protocolos de Sinalização VoIP

4.6.1. H.323 e MGCP

Os padrões MGCP e Megaco/H.248 têm aberto caminho para que o H.323 resolva algumas de suas limitações de escalabilidade, disponibilidade e integração com a SS7. O fato da existência de grande quantidade de H.323 favorece a coexistência com protocolos de controle dos *Media Gateways*, tais como o MGCP e Megaco/H.248. O H.323 é usado para a comunicação entre os elementos e com a rede. Os protocolos de controle dos *Media Gateways* são utilizados pelos GKs para controlar os gateways que interconectam a rede VoIP com a rede PSTN.

Alguns terminais atuais (cable modems, modem DSL) têm pouca capacidade de processamento. Para estes tipos de dispositivos o MGCP é mais apropriado para prover VoIP do que o H.323, pois na arquitetura MGCP a maior parte da inteligência reside na rede e os equipamentos dos usuários

(*Customer Premises Equipment* - CPEs) têm funcionalidade limitada, diminuindo assim o seu custo. Novos serviços podem ser introduzidos sem requerer uma atualização dos CPEs, pois somente o *software* centralizado que contém o serviço necessita ser atualizado, disponibilizando assim os serviços a todos os usuários que queiram pagar por estes. O MGCP não permite que um terminal faça chamadas diretas a outro terminal, o que permite às operadoras controlarem o tráfego e a QoS, e cobrarem por isso.

4.6.2. H.323 e SIP

O SIP tem atraído a atenção devido à sua simplicidade e habilidade de suportar a inclusão rápida de novos serviços. O SIP adota o modelo em que a maior parte da inteligência reside no terminal como o H.323, porém como o SIP é bem mais simples os terminais podem ser mais baratos.

A vantagem do H.323 é que já existem investimentos em H.323 e a coexistência de SIP e H.323 está sendo considerada. Existem produtos (*softswitches*) que suportam H.323, SIP e MGCP e que permitem que terminais que suportem qualquer um destes protocolos estabeleçam chamadas VoIP para outros terminais independentemente do tipo de protocolo de sinalização que o terminal chamado suporte.

A Tabela 4.3 a seguir lista as principais diferenças¹⁵.

Tabela 4.3 - Comparação H.323 e SIP

H.323	SIP
Protocolo complexo	Comparativamente simples
Representação binária para as mensagens	Representação textual
Requer total compatibilidade com versões anteriores	Não requer total compatibilidade com versões anteriores
Pouco modular	Muito modular
Pouco escalável	Altamente escalável
Sinalização complexa	Sinalização simples
Primeiro a ser lançado no mercado	Orientado pelo IETF
Centenas de elementos	Somente 37 cabeçalhos
A detecção de <i>loop</i> é difícil	A detecção de <i>loop</i> é comparativamente fácil

Referências Bibliográficas

- ¹ ITU-T Rec. H.323 - Packet-based multimedia communications systems, 1996.
- ² H. Liu, P. Mouchtaris, "Voice over IP Signaling: H.323 and Beyond", IEEE Communications Magazine, October 2000.
- ³ P. Jones, L. Schessel, "H.323 Perseveres", white paper, 2003, www.tmcnet.com/it/0803/0803f-Cisco.htm.
- ⁴ M. O'hara, "Internet Telephony Protocols: Is Any One The Winner ?", white paper, 2003, www.tmcnet.com/it/0803/0803f-Cisco.htm.
- ⁵ M. Arango et al, RFC 2705 Media Gateway Control Protocol (MGCP), October 1999.
- ⁶ ITU-T Rec. H.248 –Gateway Control Protocol. IETF RFC 3015 Megaco Protocol, F. Cuervo et al, November 2000.
- ⁷ TR-303 Shorthand for Bellcore publication GR-303-CORE (formalmente TR) Issue 1, Dec.1996.
- ⁸ ITU-T Rec. 965 - V-interfaces at the digital local exchange (LE) - V5.2 interface (based on 2048 kbit/s) for the support of access network (AN), 2001.
- ⁹ T. Taylor, "Megaco/H.248: A new Standard for Media Gateway Control", IEEE Communications Magazine, October 2000.
- ¹⁰ "The Role of Megaco/H.248 in Media Gateway Control: A protocol standards overview", white paper, 2000, <http://www.nortelnetworks.com>
- ¹¹ SIP Working Group, IETF RFC 2543 SIP: Session Initiation Protocol (March 1999), RFC 3261 (June 2002).
- ¹² "What is SIP ?", white paper, http://www.radvision.com/papers/C1_What_is_SIP.html
- ¹³ "IP Telephony Protocols Positioning Paper", http://www.unispherenetworks.com/INDEX/HOME/PRODUCTS/VOICE_MEDIATION/TECHNICAL_INFORMATION/POSITIONING_PAPERS/SMX_PP_PAGE1.HTML
- ¹⁴ H. Schulzrinne, "The Session Initiation Protocol: Internet-Centric Signaling", IEEE Communications Magazine, October 2000.
- ¹⁵ R. Arora, "Voice over IP: Protocols and Standards", 1999, http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/cis788-99/voip_protocols/index.html

Capítulo 5

Resultados Experimentais

Este capítulo apresenta os resultados obtidos em redes IP simulada e experimental. Os testes nas diversas condições simuladas de rede evidenciaram tanto as degradações no tempo de estabelecimento da chamada quanto na voz. Foram medidos, também, os atrasos com os codecs G.711 e G.729 (com e sem VAD), bem como a largura de banda destes.

Em uma rede IP experimental foram, também, realizadas medidas da qualidade de voz (PSQM+) tanto na presença quanto na ausência de qualidade de serviço (com e sem carga de dados no enlace). Além disso, são medidos o atraso fim-a-fim e a largura de banda no enlace durante os testes.

5.1 Ambiente de simulação da rede IP

A Figura 5.1 representa o ambiente de simulação utilizado na obtenção das medidas relativas a qualidade do estabelecimento da chamada e da qualidade de voz (PSQM+). Os valores relativos ao atraso, variação do atraso (*jitter*) e perda de pacotes usados nas simulações foram baseados nos utilizados nas classes de QoS fim-a-fim, classes de rede e categorias de degradação da rede do projeto TIPHON do ETSI. Foram realizadas medidas para se avaliar o comportamento do tempo de estabelecimento de chamadas e qualidade de voz (PSQM+) em função de tais fatores (simulados), dos codecs e da presença ou ausência de VAD. Foram medidos, também, os atrasos com os codecs G.711 e G.729 (com e sem VAD). A Tabela 5.1 relaciona os equipamentos utilizados e a Tabela 5.2 contém os *softwares* utilizados e suas respectivas versões.

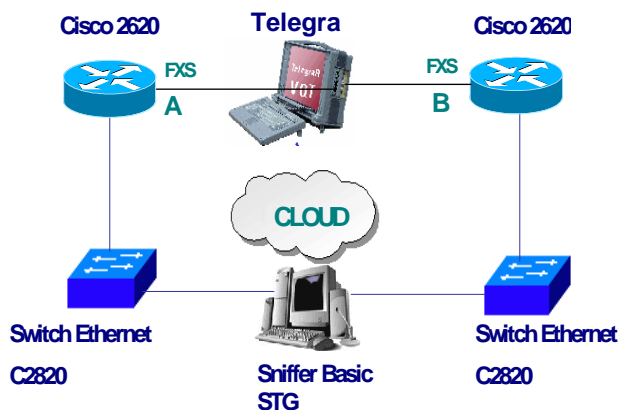


Figura 5.1 - Ambiente de Medida de PSQM+

Tabela 5.1 - Equipamentos Utilizados

Equipamentos Utilizados	Quantidade
Telegra R – VQT J1981A (Agilent)	1
Switch Ethernet Cisco 2820	2
Router Cisco 2620	2
PC com Windows NT	1
Portas VoIP (FXS)	2

Tabela 5.2 - Softwares Utilizados

Softwares Utilizados	Versão
Cisco 2620 IOS	12.2
Windows - NT	4.0
Sniffer Basic	3.50.02
CLOUD (Shunra)	2.0
STG (SNMP Traffic Grapher)	1.3.2

Para medir a qualidade da voz (PSQM+) foi utilizado o equipamento de medida Telegra VQT¹ (*Voice Quality Tester*) que disponibiliza tanto os valores de PSQM+ quanto os valores MOS (estimados automaticamente a partir da medida PSQM+).

No PSQM+ o sinal de voz recebido (frase) é alinhado com o sinal de referência (original) compensando assim o atraso introduzido pela rede e permitindo uma medida mais acurada de PSQM+.

Para a simulação da rede IP utilizou-se o *software* Cloud da Shunra (instalado no PC). Este *software* degrada o tráfego da rede em qualquer LAN, emulando uma WAN, a fim de avaliar qualquer aplicação, produto, ou tecnologia em qualquer configuração WAN. Os usuários podem adicionar bytes de *overhead* aos pacotes a fim de emular camadas de enlaces diferentes, tais como o PPP e o DSL.

O Cloud trabalha usando uma LAN para simular uma WAN acessada por dois *gateways*. Todos os três componentes são simulados em uma única máquina mesmo sem tráfego saindo do local que se encontra o usuário. O *software* simula a maioria das variações em um cenário WAN real, incluindo a latência, a perda de pacotes, dados corrompidos e a largura de banda².

Os roteadores Cisco 2620³ foram configurados para operarem com o protocolo H.323. Além disso, foram adicionadas a estes as interfaces FXS (*Foreign eXchange Subscriber*) para desempenharem a função de *gateway* H.323.

5.2 Tempo de estabelecimento de chamadas

Para medir o tempo médio do estabelecimento de uma chamada utilizou-se o *software* Sniffer Basic⁴ (analisador de protocolos instalado no PC). Através deste é possível monitorar os tempos de início e fim do estabelecimento de uma chamada. Foram efetuadas 6 medidas (chamadas) e calculados a média e o desvio padrão para cada situação simulada.

O tempo de estabelecimento de chamada foi medido considerando-se como tempo de início o da mensagem “TCP SYN SEQ” enviada pela originador da chamada e o tempo de fim o da mensagem “H245 *Response Open Logical Channel*” recebida pelo originador da chamada.

Os valores relativos ao atraso, variação do atraso (*jitter*) e perda de pacotes usados nas simulações foram baseados nos utilizados nas classes de QoS fim-a-fim, classes de rede e categorias de degradação da rede do projeto TIPHON do ETSI.

O tempo de estabelecimento de chamada foi medido em função dos seguintes fatores (simulados) de rede:

- Perda de pacotes
- Atraso fixo
- Atraso variável (*jitter*)
- Perda de pacotes e *jitter*

5.2.1 Metodologia

- Para efetuar as medidas do tempo de estabelecimento de chamada em função da porcentagem da perda de pacotes foi configurado o *software* Cloud com o valor de 0% e iniciado o estabelecimento da chamada por intermédio do equipamento Telegra. Os tempos de início e fim das mensagens relativas ao estabelecimento de chamada foram monitorados com o *software* Sniffer Basic e a diferença destes tempos foi calculada e assim foi determinado o tempo do estabelecimento da chamada nesta condição simulada de rede. O processo foi repetido mais 5 vezes. Desta forma pode-se calcular o tempo médio do estabelecimento da chamada, bem como o desvio padrão. O mesmo procedimento foi repetido para os valores de 3%, 5%, 10%, 15% e 25% de perda de pacotes;
- Para efetuar as medidas do tempo de estabelecimento de chamada em função do atraso fixo foi adotado um procedimento análogo ao item (a) com os valores configurados no *software* Cloud de 0 ms, 150 ms, 250 ms, 350 ms e 450 ms;
- Para efetuar as medidas do tempo de estabelecimento de chamada em função do *jitter* médio foi adotado um procedimento análogo ao item (a) com os valores configurados no *software* Cloud de 0 ms, 75 ms, 125 ms e 225 ms de média e desvio padrão de metade da média;
- Para efetuar as medidas do tempo de estabelecimento de chamada em função da porcentagem de perda de pacotes e *jitter* médio (simultâneos) foi adotado um procedimento análogo ao item (a) com os valores configurados no *software* Cloud combinando porcentagem da perda de pacotes e *jitter* médio (com desvio padrão de metade da média) de 0% e 0ms, 3% e 75ms, 5% e 125ms, 10% e 225ms, 15% e 125ms, 25% e 225ms.

5.2.2 Perda de Pacotes

A Tabela 5.3 mostra os valores obtidos nas medidas do tempo de estabelecimento de chamadas em função da porcentagem da perda de pacotes e a Figura 5.2 ilustra graficamente os resultados.

Tabela 5.3 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função da Perda de Pacotes

	0 %	3 %	5%	10%	15%	25%
Medida 1	0:00,343	0:00,520	0:02,342	0:09,819	0:15,232	1:17,844
Medida 2	0:00,341	0:00,343	0:04,781	0:07,618	0:19,073	1:14,754
Medida 3	0:00,342	0:01,068	0:05,565	0:06,385	0:19,544	0:37,281
Medida 4	0:00,342	0:00,344	0:05,139	0:05,543	0:21,233	0:17,384
Medida 5	0:00,342	0:01,070	0:04,835	0:11,990	0:21,675	0:23,517
Medida 6	0:00,343	0:00,340	0:04,828	0:06,152	0:17,391	0:27,213
Média [s]	0:00,342	0:00,614	0:04,582	0:07,918	0:19,025	0:42,999
Desvio (+/-)	0:00,001	0:00,359	0:01,137	0:02,506	0:02,418	0:22,821

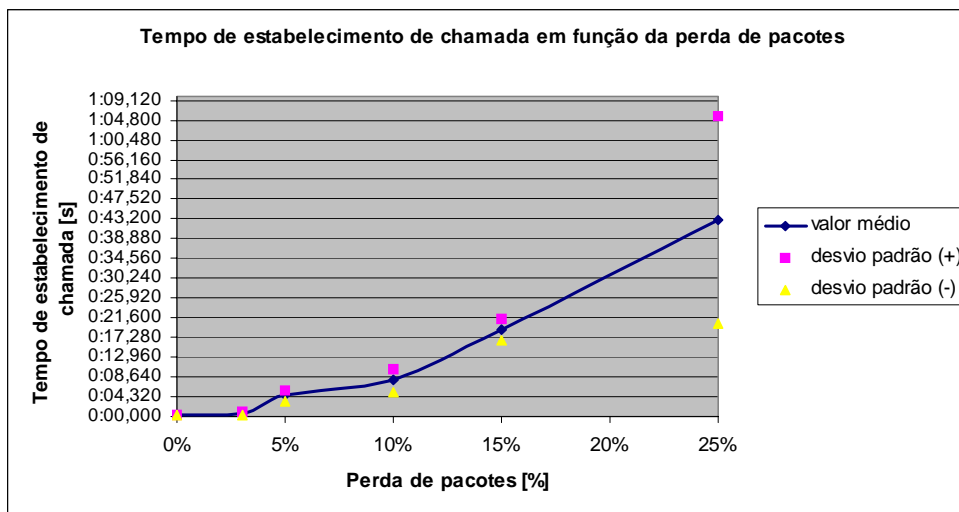


Figura 5.2 - Gráfico do Tempo de estabelecimento de Chamadas em função da Perda de Pacotes

Na fase de estabelecimento de Chamadas para perda de pacotes acima de 10% nota-se a demora na abertura do canal de conversação, sendo que a abertura do canal do chamador e do chamado apresentam-se disponíveis em tempos diferentes. Este sintoma é agravado com o aumento na perda de pacotes. Apesar das perdas as ligações são estabelecidas uma vez que nesta fase os pacotes são transportados via TCP e isto garante detecção da perda e retransmissão dos pacotes referentes a sinalização estabelecendo assim a chamada.

5.2.3 Atraso na entrega de pacotes

A Tabela 5.4 mostra os valores obtidos nas medidas do tempo de estabelecimento de chamadas em função do atraso (em um único sentido) e a Figura 5.3 ilustra graficamente os resultados.

Tabela 5.4 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do Atraso

	0 ms	150 ms	250 ms	350 ms	450 ms
Medida 1	00,343	03,467	05,070	07,357	09,165
Medida 2	00,341	03,458	05,562	06,666	08,267
Medida 3	00,342	03,594	05,068	07,362	09,162
Medida 4	00,342	03,463	05,564	06,664	08,294
Medida 5	00,342	03,758	05,068	07,359	09,165
Medida 6	00,343	03,761	05,072	07,361	08,268
Média [s]	00,342	03,583	05,234	07,128	08,720
Desvio (+/-)	00,001	00,146	00,255	00,359	00,486

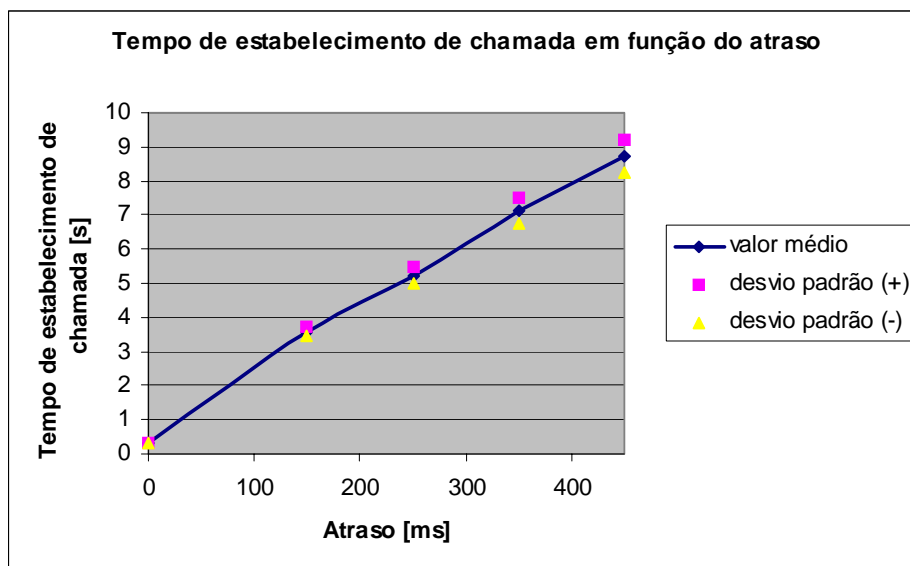


Figura 5.3 - Gráfico do Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do Atraso

Para atraso na entrega de pacotes a partir de 350 ms é perceptível a demora na disponibilidade do canal para conversação, porém tanto o lado chamador quanto o lado chamado obtém o canal ao mesmo tempo.

5.2.4 Jitter

A Tabela 5.5 mostra os valores obtidos nas medidas do tempo de estabelecimento de chamadas em função do *jitter* médio e a Figura 5.4 ilustra graficamente os resultados.

Tabela 5.5 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do *Jitter* médio

	0 ms	75 ms	125 ms	225 ms
Medida 1	00,343	01,777	03,082	05,023
Medida 2	00,341	01,896	02,900	05,377
Medida 3	00,342	01,726	02,662	04,581
Medida 4	00,342	01,417	02,338	05,133
Medida 5	00,342	01,844	02,699	04,768
Medida 6	00,343	02,246	03,076	05,314
Média [s]	00,342	01,818	02,793	05,033
Desvio (+/-)	00,001	00,269	00,286	00,310

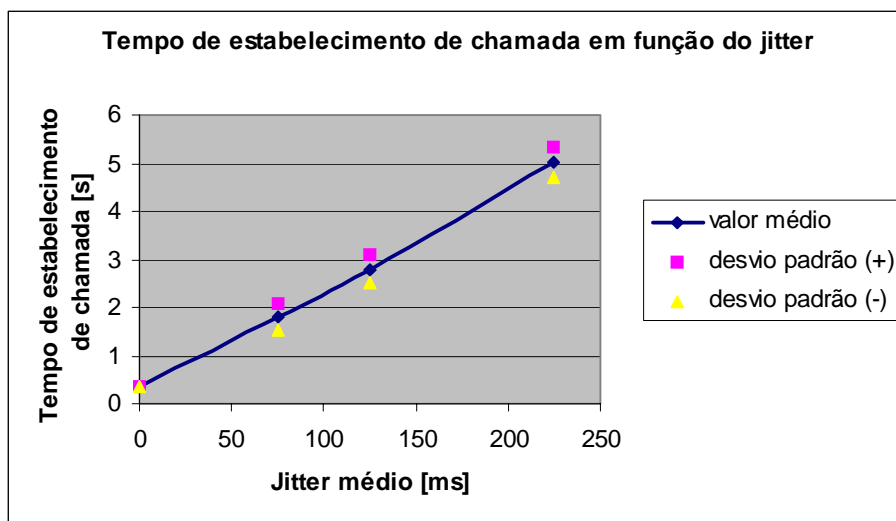


Figura 5.4 - Gráfico do Tempo de estabelecimento de Chamadas em função do *Jitter*

O tempo para disponibilizar o canal para conversação aumenta com o aumento do *jitter*, porém com os níveis de *jitter* utilizados não é perceptível ao usuário a demora no estabelecimento do canal de comunicação.

5.2.5 Perda de Pacotes e *Jitter*

A Tabela 5.6 mostra os valores obtidos nas medidas do tempo de estabelecimento de chamadas em função da porcentagem da perda de pacotes e *jitter* médio.

Tabela 5.6 - Tempo de estabelecimento de Chamadas em função da Perda de Pacotes e *Jitter*

	0% ; 0ms	3% ; 75ms	5% ; 125ms	10% ; 225 ms	15% ; 125ms	25% ; 225ms
Medida 1	0:00,343	0:01,776	0:04,125	0:05,018	0:07,424	0:23,385
Medida 2	0:00,341	0:01,887	0:04,455	0:13,010	0:07,233	1:06,958
Medida 3	0:00,342	0:01,681	0:04,475	0:07,192	0:44,657	0:36,915
Medida 4	0:00,342	0:01,835	0:02,949	0:18,277	0:17,291	0:27,516
Medida 5	0:00,342	0:05,438	0:02,942	0:12,998	0:20,838	0:58,301
Medida 6	0:00,343	0:03,990	0:07,022	0:09,516	0:23,369	0:47,621
Média	0:00,342	0:02,768	0:04,328	0:11,002	0:20,135	0:43,449
Desvio (+/-)	0:00,001	0:01,577	0:01,494	0:04,764	0:13,772	0:17,261

Para a condição de rede com 10% de perda dos pacotes e *jitter* de 225 ms nota-se a demora na disponibilização do canal de comunicação. Este sintoma é agravado com o aumento da perda de pacotes.

5.3 Medidas PSQM+

Para medir a qualidade da voz (PSQM+) foi utilizado o equipamento Telegra VQT (*Voice Quality Tester*) da Agilent Technologies. A qualidade da voz foi medida em função dos seguintes fatores (simulados) de rede:

- Perda de pacotes
- Atraso variável (*jitter*)
- Perda de pacotes e *jitter*

Foram consideradas as medidas de PSQM+ somente no sentido chamador – chamado (A para B), uma vez que os resultados são semelhantes para ambos os sentidos. As frases (masculina e feminina) utilizadas nas medidas foram previamente gravadas (em português, no formato .wav) com duração de aproximadamente 13 segundos.

Foram considerados os codecs G.711 e G.729 com e sem VAD (*Voice Activity Detection*). Através do software de simulação de rede de pacotes Cloud é possível inserir perda aleatória de pacotes, variação de atraso (*jitter*) e ambos conjuntamente e avaliar a influência na qualidade de voz.

5.3.1 Metodologia

- Para efetuar as medidas da qualidade da voz (com o método PSQM+) em função da porcentagem da perda de pacotes, os gateways foram configurados para o codec G.711 com VAD e o *software* Cloud foi configurado com o valor de 0%. Foi, então, iniciado o estabelecimento da chamada por intermédio do equipamento Telegra. Após isso foi medido o PSQM+ médio (5 vezes para cada voz, masculina e feminina, e nos dois sentidos). Desta forma foi possível calcular a média dos valores médios de PSQM+. O mesmo procedimento foi repetido para os valores de 3%, 5%, 10%, 15% e 25% de perda de pacotes. Todo o procedimento foi novamente repetido para o codec G.711 sem VAD. Em seguida foi repetido o processo para o codec G.729 com VAD. E novamente repetido para o codec G.729 sem VAD;
- Para efetuar as medidas da qualidade da voz (com o método PSQM+) em função do *jitter* médio foi adotado um procedimento análogo ao item (e) com os valores configurados no *software* Cloud de 0 ms, 75 ms, 125 ms, 175 ms e 225 ms de média e desvio padrão de metade da média;
- Para efetuar as medidas da qualidade da voz (com o método PSQM+) em função da porcentagem perda de pacotes e *jitter* médio (simultâneos) foi adotado um procedimento análogo ao item (e) com os valores configurados no *software* Cloud combinando porcentagem da perda de pacotes e *jitter* médio (com desvio padrão de metade da média) de 0% e 0ms, 0,5% e 10ms, 1% e 20ms, 2% e 40ms, 3% e 75ms, 15% e 125ms e 25% e 225ms.

5.3.2 Perda de pacotes

A Tabela 5.7 mostra a média obtida após 5 medidas do PSQM+ realizadas em cada condição. Cada medida fornece um valor médio de PSQM+. A partir disto calculou-se a média das médias. É mostrada também (abaixo do valor do PSQM+) a média obtida dos valores estimados para o MOS.

A Figura 5.5 ilustra graficamente os resultados obtidos.

Tabela 5.7 - Medidas de PSQM+ em função da % da perda de pacotes

%Perda de Pacotes						
	0%	3%	5%	10%	15%	25%
Médias dos valores de PSQM+ e MOS Estimado						
G.711 com	0,63	0,91	1,11	1,65	1,96	2,93
VAD Masc	4,60	4,39	4,20	3,68	3,36	2,22
G.711 com	0,73	1,04	1,18	1,77	2,24	3,10
VAD Fem	4,53	4,28	4,13	3,56	3,05	2,03
G.711 sem	0,60	0,95	1,16	1,58	1,97	2,95
VAD Masc	4,62	4,36	4,16	3,75	3,36	2,19
G.711 sem	0,74	1,02	1,20	1,69	2,19	3,07
VAD Fem	4,53	4,29	4,12	3,64	3,10	2,03
G.729 com	2,06	2,28	2,35	2,90	3,14	3,96
VAD Masc	3,26	3,00	2,92	2,25	1,95	1,40
G.729 com	2,33	2,50	2,74	3,01	3,38	4,32
VAD Fem	2,95	2,74	2,44	2,12	1,69	1,34
G.729 sem	1,80	2,01	2,28	2,63	3,04	3,62
VAD Masc	3,54	3,32	3,01	2,58	2,08	1,47
G.729 sem	2,18	2,47	2,56	2,99	3,29	4,16
VAD Fem	3,12	2,79	2,66	2,14	1,78	1,37

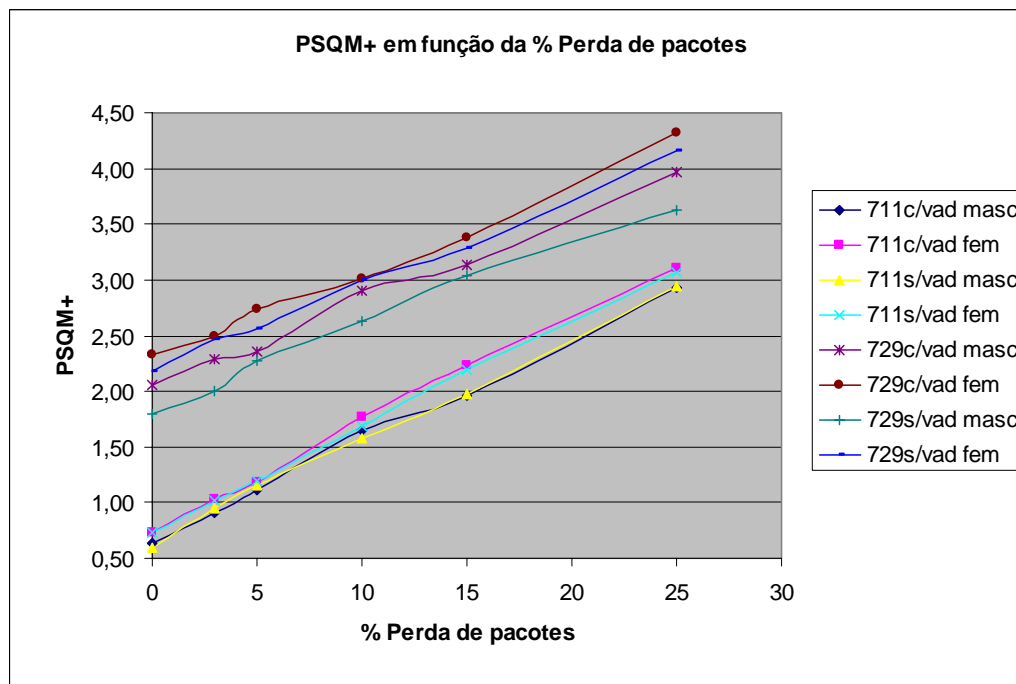


Figura 5.5 - Resultados das Medidas de PSQM+

Percebe-se que a voz feminina apresenta sempre uma avaliação pior (maior PSQM+) comparada com a voz masculina em todas as condições de perda de pacotes testadas. Além disso, como é esperado, o codec G.729 apresenta uma avaliação pior (maior PSQM+) que o codec G.711 e, à medida que a taxa de perdas aumenta, para os dois codecs, os níveis de qualidade vão degradando até tornarem-se pobres, tornando o esforço para o entendimento considerável.

5.3.3 Jitter

A Tabela 5.8 mostra a média obtida após 5 medidas do PSQM+ realizadas em cada condição. Cada medida fornece um valor médio de PSQM+. A partir disto calculou-se a média das médias. É mostrada também (abaixo do valor do PSQM+) a média obtida dos valores estimados para o MOS.

A Figura 5.6 ilustra graficamente os resultados obtidos.

Tabela 5.8 – Medidas de PSQM+ em função do jitter médio

Jitter médio [ms]					
	0	75	125	175	225
Médias dos valores de PSQM+ e MOS Estimado					
G.711 com	0,63	2,09	2,45	3,37	4,83
VAD Masc	4,60	3,17	2,77	1,89	1,23
G.711 com	0,73	2,52	3,04	3,59	5,17
VAD Fem	4,53	2,71	2,10	1,72	1,18
G.711 sem	0,60	2,10	2,16	3,26	5,22
VAD Masc	4,62	3,20	3,10	1,98	1,16
G.711 sem	0,74	2,69	3,14	3,17	4,78
VAD Fem	4,53	2,51	2,04	2,00	1,25
G.729 com	2,06	3,08	3,38	4,24	5,91
VAD Masc	3,26	2,05	1,90	1,36	1,06
G.729 com	2,33	3,46	3,90	4,98	5,64
VAD Fem	2,95	1,74	1,52	1,26	1,08
G.729 sem	1,80	2,73	3,14	3,92	5,23
VAD Masc	3,54	2,45	2,14	1,41	1,16
G.729 sem	2,18	3,18	3,64	4,81	5,81
VAD Fem	3,12	1,88	1,55	1,25	1,05

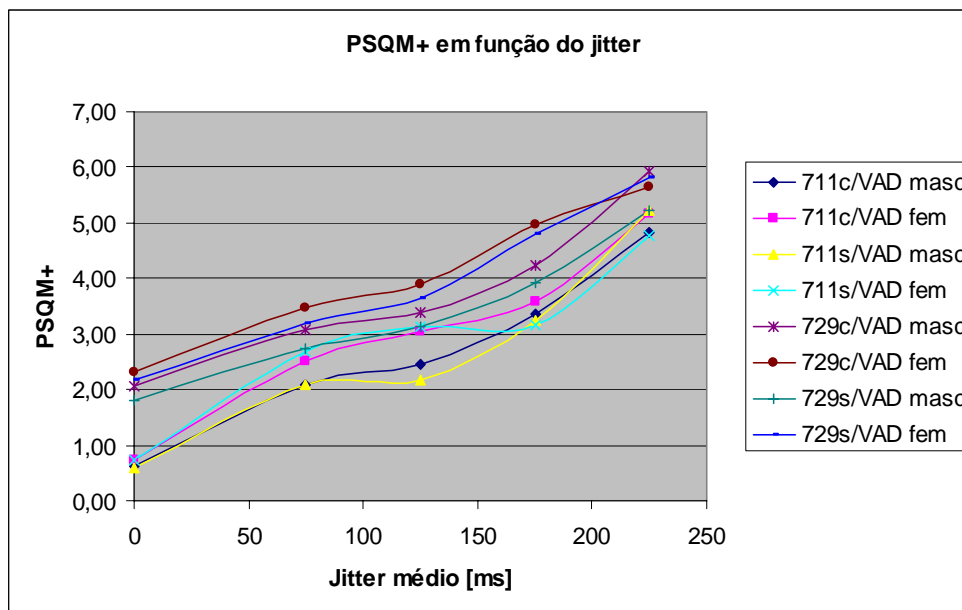


Figura 5.6 - Medidas de PSQM+

Nota-se que a voz feminina apresenta uma avaliação pior (maior PSQM+) comparada com a voz masculina em praticamente todas as condições de *jitter* testadas. Além disso, como é esperado, o codec G.729 apresenta uma avaliação pior (maior PSQM+) que o codec G.711 e, à medida que o *jitter* aumenta, para os dois codecs, os níveis de qualidade vão degradando até tornarem-se ruins, levando praticamente a nenhum entendimento. No roteador Cisco 2620 (utilizado como *gateway*) o *buffer* de *jitter default* é 40ms.

5.3.4 Perda de pacotes e *jitter*

A Tabela 5.9 mostra a média obtida após 5 medidas do PSQM+ realizadas em cada condição. Cada medida fornece um valor médio de PSQM+. A partir disto calculou-se a média das médias. É mostrada também (abaixo do valor do PSQM+) a média obtida dos valores estimados para o MOS.

Tabela 5.9 - Medidas de PSQM+ em função da % da perda de pacotes e jitter médio

%Perda de Pacotes / Jitter médio [ms]							
	0%	0,5%	1%	2%	3%	15%	25%
	0ms	10ms	20ms	40ms	75ms	125ms	225ms
Médias dos valores de PSQM+ e MOS Estimado							
G.711 com VAD Masc	0,63	1,04	1,26	1,91	2,64	3,62	5,89
G.711 com VAD Fem	4,60	4,40	4,31	3,86	2,57	1,50	1,04
G.711 sem VAD Masc	0,73	1,35	1,42	2,20	2,66	4,29	6,62
G.711 sem VAD Fem	4,53	4,26	4,19	3,60	2,53	1,34	1,01
G.711 sem VAD Masc	0,60	0,61	0,66	1,89	2,94	3,70	5,63
G.711 sem VAD Fem	4,62	4,59	4,57	3,89	2,23	1,86	1,11
G.711 sem VAD Masc	0,74	0,75	0,78	2,29	3,11	3,65	5,98
G.711 sem VAD Fem	4,53	4,55	4,54	3,40	1,97	1,77	1,05
G.729 com VAD Masc	2,06	2,07	2,21	2,57	3,38	4,08	6,41
G.729 com VAD Fem	3,26	3,35	3,60	3,28	1,64	1,38	1,04
G.729 com VAD Masc	2,33	2,36	2,41	2,66	3,63	4,56	7,05
G.729 com VAD Fem	2,95	3,43	3,42	3,17	1,61	1,29	1,00
G.729 sem VAD Masc	1,80	1,81	1,86	2,73	3,00	3,99	6,29
G.729 sem VAD Fem	3,54	3,96	3,83	3,08	2,15	1,41	1,00
G.729 sem VAD Masc	2,18	2,22	2,38	2,87	3,53	4,07	6,59
G.729 sem VAD Fem	3,12	3,40	3,45	2,93	1,76	1,38	1,01

Observa-se que a voz feminina apresenta uma avaliação pior (maior PSQM+) comparada com a voz masculina em todas as condições de testadas. Além disso, como é esperado, o codec G.729 apresenta uma avaliação pior (maior PSQM+) que o codec G.711 e, à medida que a combinação simultânea da porcentagem da perda de pacotes e *jitter* aumenta, para os dois codecs, os níveis de qualidade vão degradando até tornarem-se ruins, levando praticamente a nenhum entendimento. No roteador Cisco 2620 (utilizado como *gateway*) o *buffer* de *jitter default* é 40ms.

A escolha entre o codec G.711 e G.729, por exemplo, em uma rede corporativa utilizando VoIP, depende do compromisso custo-benefício desejado, pois o que tem o melhor desempenho é o G.711 e em contrapartida consome mais banda. Geralmente os enlaces utilizados são alugados de um provedor de serviço de rede e o custo aumenta com a banda. Mesmo tendo um desempenho pior o G.729 é uma opção interessante, pois o consumo de banda é menor e a qualidade satisfatória.

5.4 Medidas de Atraso

Para medir o atraso foi utilizado o equipamento Telegra VQT (*Voice Quality Tester*) da Agilent Technologies. O atraso foi medido em função dos seguintes fatores (simulados) de rede:

- Perda de pacotes = 0%;
- Atraso variável (*jitter*) = 0ms;
- Perda de pacotes e *jitter* = 0% e 0ms.

E sem compressão dos cabeçalhos IP/UDP/RTP.

Para tal os gateways foram configurados com o codec G.711 com VAD e em seguida sem VAD. Posteriormente foram configurados com o codec G.729 com VAD e na sequência sem VAD.

A Tabela 5.10 mostra a média obtida após 5 medidas consecutivas realizadas para os codecs G.711 e G.729 (com e sem VAD).

Tabela 5.10 - Atraso em função dos Codecs

Codec	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
G.711 com VAD	66,800	0,460
G.711 sem VAD	65,825	0,431
G.729 com VAD	87,650	0,441
G.729 sem VAD	91,800	0,365

Observa-se que o codec G.729 apresenta um atraso maior comparado ao G.711, pois há as etapas de compressão e descompressão. A presença ou ausência da VAD tem pequena influência no atraso.

5.5 Largura de Banda dos Codecs

5.5.1 Ambiente para as medidas de banda

A Figura 5.7 ilustra o ambiente utilizado para as medidas de banda dos codecs G.711 e G.729 com e sem VAD e com e sem compressão dos cabeçalhos.

Para efetuar as medidas de largura de banda dos codecs utilizou-se a interface serial do roteador/gateway, pois nesta condição os valores obtidos através do *software* STG⁵ (instalado no PC) referem-se apenas aos pacotes RTP (Real Time Protocol), além de se ter a opção de usar a compressão dos cabeçalhos (IP/UDP/RTP).

O *software* STG foi configurado para ler a MIB (*Management Information Base*) correspondente da interface serial do roteador/gateway a cada 170ms.

Observa-se a ocorrência de picos de utilização de banda devido à adição de pacotes para controle e sincronização, por exemplo, pacotes RTCP.

A fala de uma conversação unidirecional, utilizada nas medidas, foi previamente gravada (em português, no formato .wav) com duração de aproximadamente 1 minuto. A partir de outro PC a fala era reproduzida e introduzida no sistema em teste.

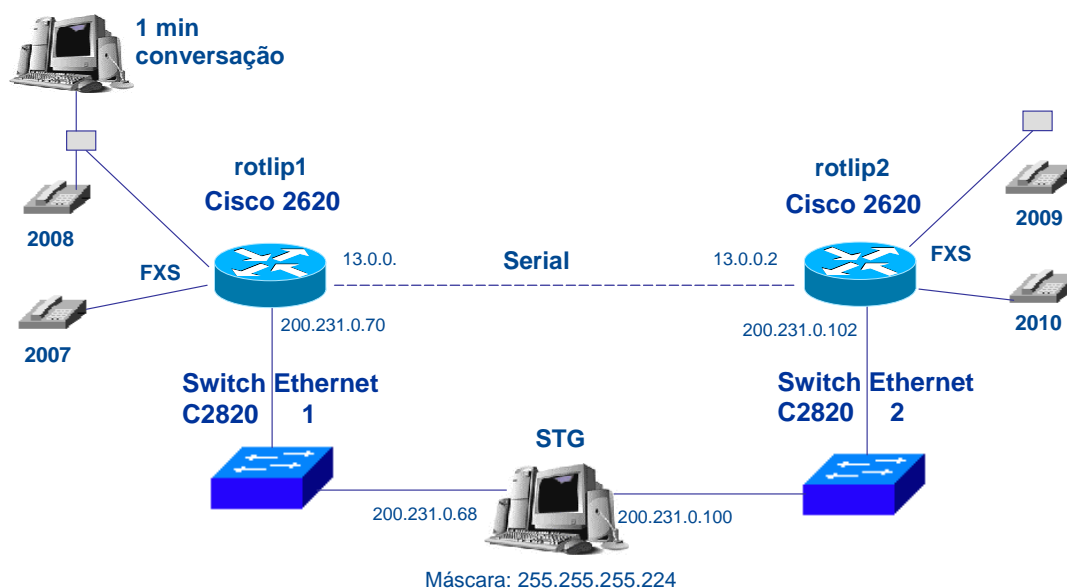


Figura 5.7 - Configuração para medir a banda utilizada pelos Codecs

5.5.2 Utilizando Codec G.711

5.5.2.1 Com VAD, com compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.8 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.711 com VAD e com compressão dos cabeçalhos.

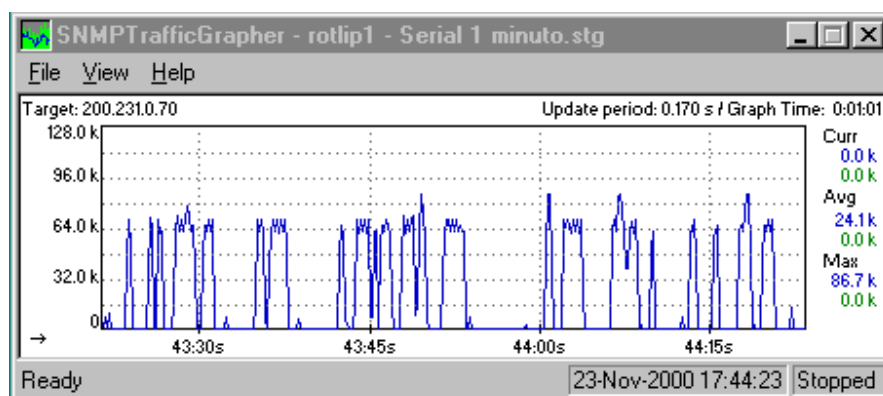


Figura 5.8 - G.711 com VAD, com compressão dos cabeçalhos

Nota-se, claramente, o efeito da presença da VAD, pois somente onde há voz apresenta uma banda de aproximadamente 68 kbit/s. Na ausência de voz a banda é nula. Com isso a banda média medida é de 24,1 kbit/s, evidenciando um ganho estatístico da ordem de 60%.

5.5.2.2 Com VAD, sem compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.9 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.711 com VAD e sem compressão dos cabeçalhos.

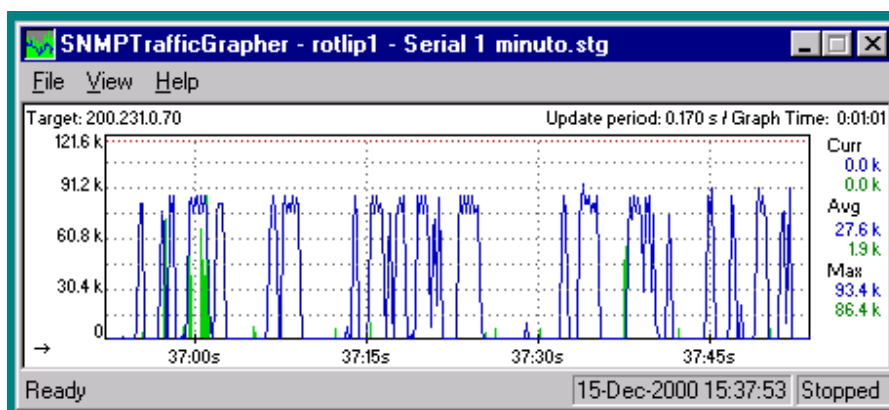


Figura 5.9 - G.711 com VAD, sem compressão dos cabeçalhos

Observa-se, claramente, o efeito da ausência da compressão dos cabeçalhos, pois onde há voz a banda fica em torno de 80 kbit/s. Na medida anterior, com compressão, a banda é em torno de 68 kbit/s. Portanto, com a compressão dos cabeçalhos, uma redução de aproximadamente 15%.

Nota-se, também, o efeito da presença da VAD, pois somente onde há voz apresenta uma banda de aproximadamente 80 kbit/s. Na ausência de voz a banda é nula. Com isso a banda média medida é de 27,6 kbit/s, evidenciando um ganho estatístico da ordem de 60%.

5.5.2.3 Sem VAD, com compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.10 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.711 sem VAD e com compressão dos cabeçalhos.

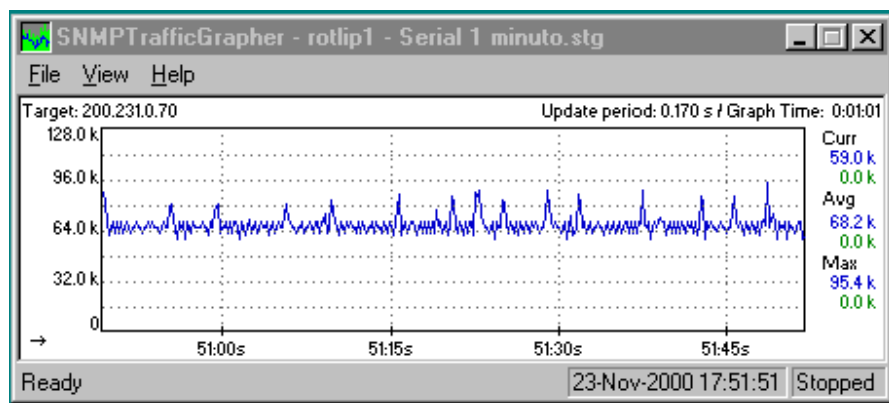


Figura 5.10 - G.711 sem VAD, com compressão dos cabeçalhos

Percebe-se, claramente, os efeitos da ausência da VAD e presença da compressão dos cabeçalhos, pois havendo ou não voz a banda medida fica em torno de 68 kbit/s.

5.5.2.4 Sem VAD, sem compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.11 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.711 sem VAD e sem compressão dos cabeçalhos.

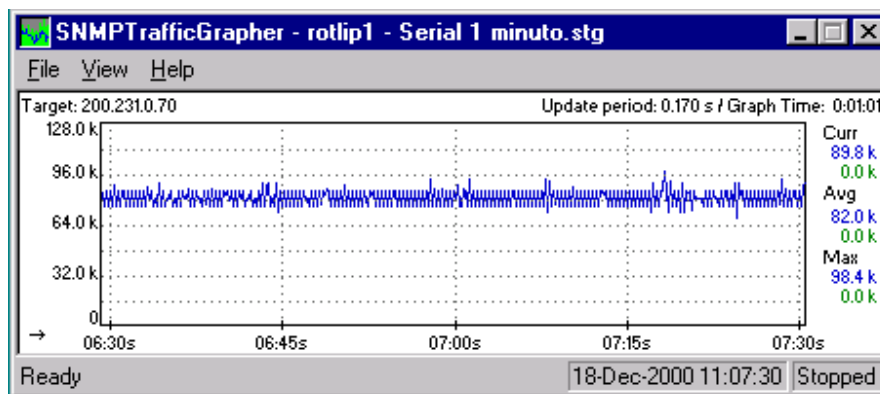


Figura 5.11 - G.711 sem VAD, sem compressão dos cabeçalhos

Nota-se, claramente, o efeito da ausência da compressão dos cabeçalhos, pois a banda medida fica em torno de 82 kbit/s. Na medida anterior, com compressão, a banda é de aproximadamente 68 kbit/s. Portanto, com a compressão dos cabeçalhos, uma redução de aproximadamente 17%.

5.5.3 Utilizando Codec G.729

5.5.3.1 Com VAD, com compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.12 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.729 com VAD e com compressão dos cabeçalhos.

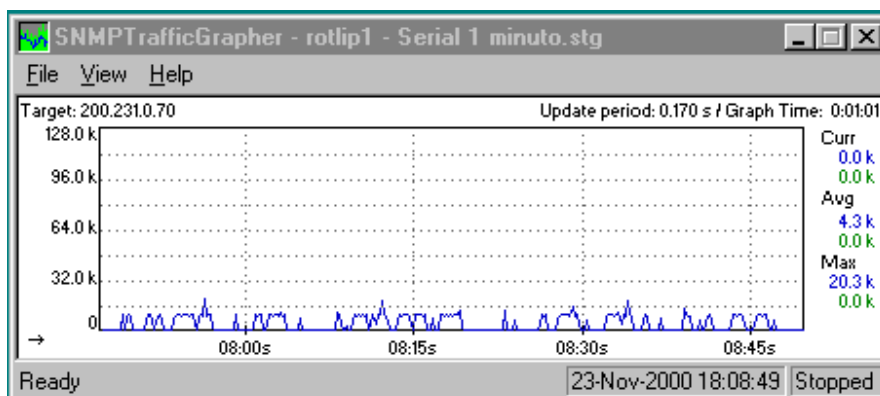


Figura 5.12 - G.729 com VAD, com compressão dos cabeçalhos

Observa-se, claramente, o efeito da presença da VAD, pois somente onde há voz apresenta uma banda de aproximadamente 10 kbit/s. Na ausência de voz a banda é nula. Com isso a banda média medida é de 4,3 kbit/s, evidenciando um ganho estatístico da ordem de 60%.

5.5.2.2 Com VAD, sem compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.13 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.729 com VAD e sem compressão dos cabeçalhos.

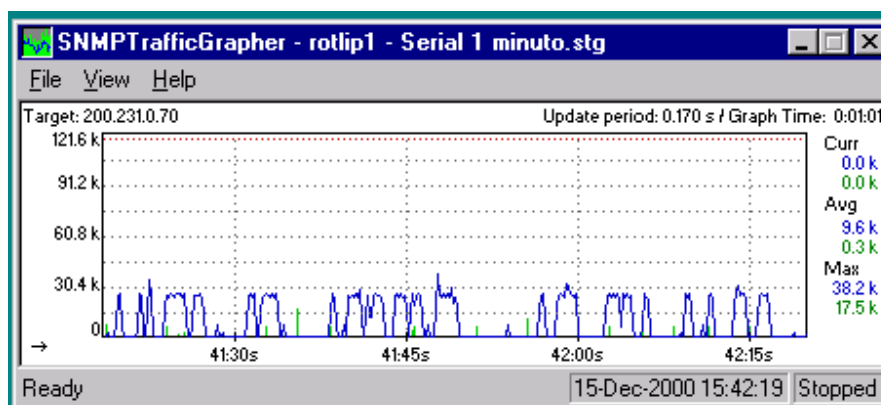


Figura 5.13 - G.729 com VAD, sem compressão dos cabeçalhos

Percebe-se, claramente, o efeito da ausência da compressão dos cabeçalhos, pois onde há voz a banda fica em torno de 26 kbit/s. Na medida anterior, com compressão, a banda é de aproximadamente 10 kbit/s. Portanto, com a compressão dos cabeçalhos, uma redução de aproximadamente 60%.

Nota-se, também, o efeito da presença da VAD, pois somente onde há voz apresenta uma banda de aproximadamente 26 kbit/s. Na ausência de voz a banda é nula. Com isso a banda média medida é de 9,6 kbit/s, evidenciando um ganho estatístico da ordem de 60%.

5.5.2.3 Sem VAD, com compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.14 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.729 sem VAD e com compressão dos cabeçalhos.

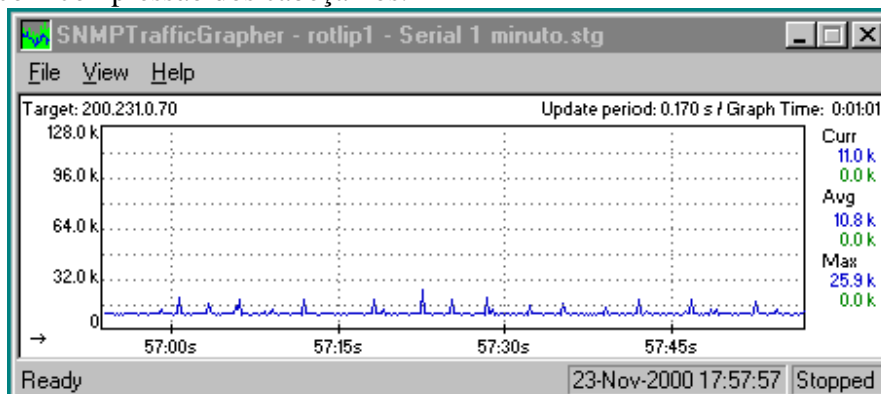


Figura 5.14 - G.729 sem VAD, com compressão dos cabeçalhos

Observa-se, claramente, os efeitos da ausência da VAD e presença da compressão dos cabeçalhos, pois havendo ou não voz a banda medida fica em torno de 10,8 kbit/s.

5.5.2.4 Sem VAD, sem compressão dos cabeçalhos

A Figura 5.15 mostra a banda consumida (em um sentido) em uma conversação utilizando o codec G.729 sem VAD e sem compressão dos cabeçalhos.

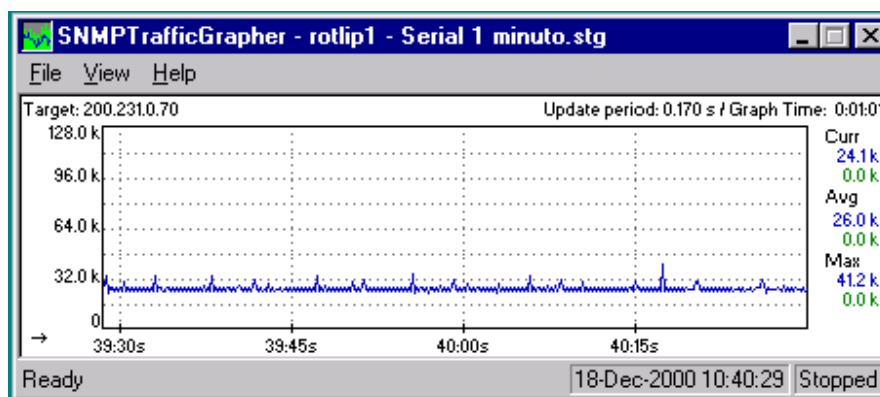


Figura 5.15 - G.729 sem VAD, sem compressão dos cabeçalhos

Nota-se, claramente, o efeito da ausência da compressão dos cabeçalhos, pois a banda medida fica em torno de 26 kbit/s. Na medida anterior, com compressão, a banda é de aproximadamente 10,8 kbit/s. Portanto, com a compressão dos cabeçalhos, uma redução de aproximadamente 60%.

A comparação entre as bandas dos codecs G.711 e G.729, considerando, por exemplo, 82kbit/s e 26kbit/s, respectivamente, mostra uma redução de aproximadamente 68%.

5.6 Topologia e ambiente para as medidas na rede IP experimental

A Figura 5.16 ilustra a topologia e o ambiente utilizado para as medidas de PSQM+ (com e sem carga de dados no enlace), atraso fim-a-fim e banda consumida no enlace de acesso.

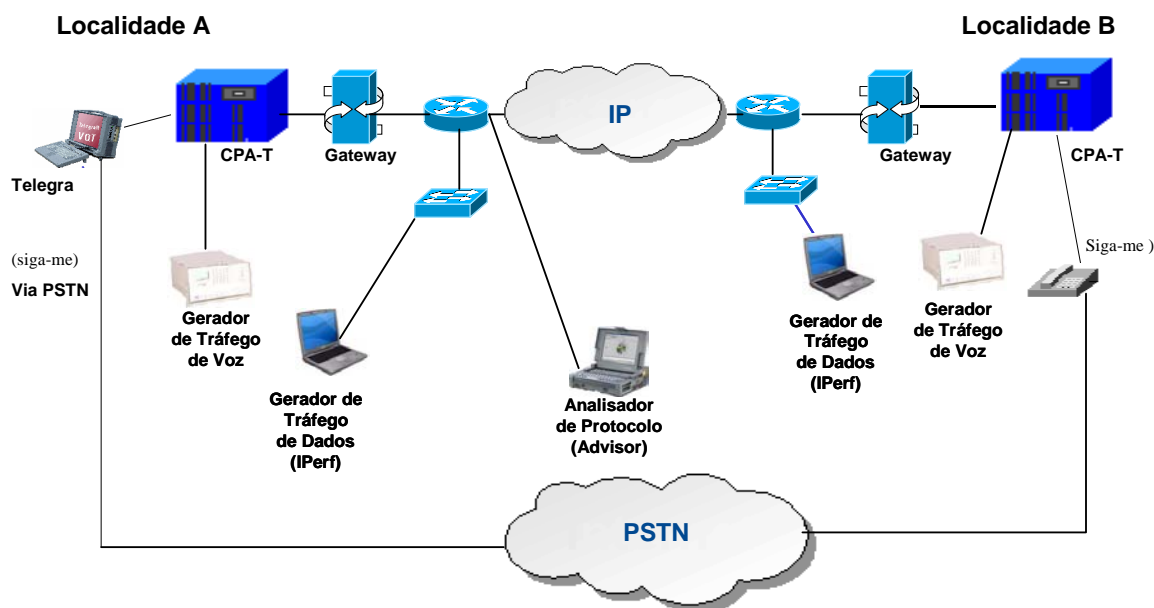


Figura 5.16 - Topologia utilizada para as medidas

As localidades envolvidas na rede experimental estão distantes geograficamente a mais de 200 km. Para as medidas de PSQM+ e atraso fim-a-fim foi utilizado o equipamento Telegra VQT. Para as medidas de banda consumida no enlace foi utilizado o equipamento analisador de protocolos Advisor⁶ da Agilent.

Os testes foram iniciados efetuando-se uma ligação telefônica usando o próprio Telegra VQT, na localidade A, que possui duas portas analógicas FXS para conectar as linhas telefônicas envolvidas.

Para tanto utilizou-se o número telefônico A da localidade A chamando o número telefônico B da localidade B. O telefone B foi programado com a função siga-me (*follow me*) para retornar, via rede PSTN, à localidade A no número telefônico C (outra porta FXS do Telegra). Este recurso foi utilizado, pois havia somente um instrumento de medida e o como o atraso, relativo a rede PSTN, é inferior a 10ms a influência nas medidas de atraso é muito pequena.

Uma vez estabelecida a chamada procedia-se as medidas de PSQM+. Utilizou-se para isso duas frases (em português) previamente gravadas (formato .wav) e armazenadas no Telegra VQT, sendo uma masculina e outra feminina, com aproximadamente 13 segundos cada (as mesmas utilizadas nas medidas da rede simulada). Para cada frase foram efetuadas cinco medidas em cada sentido. Na sequência procedia-se a medida de atraso. Para tal foram efetuadas cinco medidas automáticas consecutivas em cada sentido. Durante os testes de PSQM+ foram, também, efetuadas as medidas de banda no enlace de acesso.

Para verificação da atuação do mecanismo de QoS WFQ (configurado nos roteadores da rede IP) na presença de dados comuns concorrentes com os dados de voz no enlace foram executadas medidas de PSQM+ em função da porcentagem de carga de dados comuns da banda do enlace. O atraso fim-a-fim também foi medido. Os enlaces de acesso a rede WAN (IP) são de 2Mbit/s.

Durante todos os testes foram mantidas 16 conversações simultâneas e bidirecionais (de voz) entre as localidades A e B gerando assim um tráfego de chamada e de voz de forma cíclica (estabelecimento de chamada, transmissão de voz e liberação da chamada), simulando um ambiente real. Para tal foi utilizado o equipamento Sitest⁷ da Digitro. A 17ª. conversação corresponde a gerada pelo próprio equipamento (Telegra) de medida de PSQM+.

Para criar uma situação próxima do real foi gerado um tráfego de dados (com carga de 0%, 10%, 50% e complementando a utilização de banda dos enlaces de acesso a rede IP) por meio do *software* IPerf⁸. Nos testes o *software* IPerf foi configurado para gerar pacotes UDP com tamanho de *payload* variando de 70 a 200 Bytes de acordo com a carga de dados necessária.

O tráfego de dados gerado por tais pacotes foi verificado pelo instrumento de medida Advisor da Agilent.

5.6.1 Medidas de PSQM+ , atraso e banda (com e sem carga de dados no enlace)

A Figura 5.17 ilustra o efeito da presença ou ausência de QoS de acordo com a carga de dados em um enlace⁹.

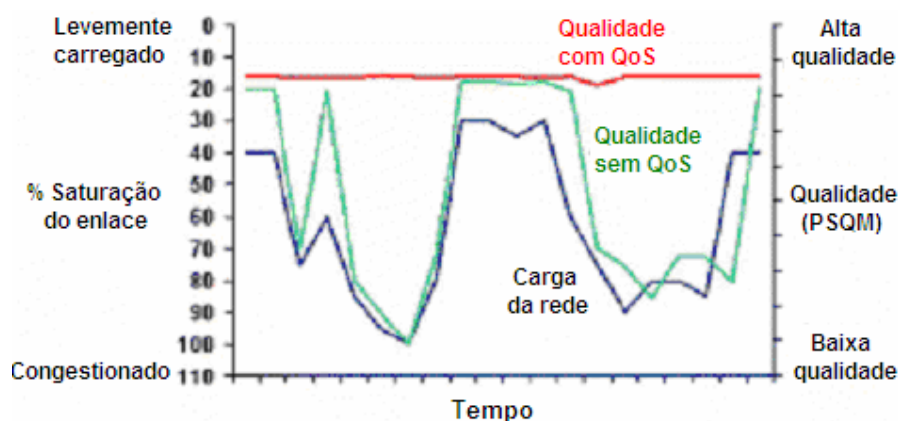


Figura 5.17 - % de Carga de dados e Qualidade x Tempo com e sem QoS⁹

Foram realizadas as medidas de PSQM+, atraso fim-a-fim e banda consumida no enlace de acesso a rede IP (WAN) com os codecs G.711 e G.729 (com e sem VAD), com e sem carga de dados no enlace e com e sem QoS.

5.6.1.1 Metodologia

- Para realizar as medidas de PSQM+, atraso fim-a-fim e banda consumida no enlace de acesso a rede IP (WAN) com os codecs G.711 e G.729 (com e sem VAD), com e sem carga de dados no enlace e com e sem QoS, inicialmente os gateways foram configurados com o codec G.711 com VAD, não foi gerado tráfego de dados (0% de carga) e os roteadores foram configurados com FIFO (Sem QoS). Estabeleceu-se a chamada a partir do Telegra e foi medido o PSQM+ médio (5 vezes para cada voz, masculina e feminina, nos dois sentidos). Na sequência foi medido o atraso (5 vezes em cada sentido) e com o Advisor foi medida a banda consumida no enlace de acesso a rede IP (WAN). Repetiram-se as medidas com a geração de tráfego de dados (a partir do IPerf) com carga correspondente a 10% da banda do enlace de acesso. Novamente repetiu-se o processo para a carga de dados de 50%. Com a carga de dados complementando a banda do enlace, todas as medidas foram repetidas. Todo o ciclo de medidas foi repetido com os roteadores configurados com WFQ;
- Procedeu-se de forma análoga ao item (a) com os gateways configurados para o codec G.711 sem VAD;

- c) Procedeu-se de forma análoga ao item (a) com os gateways configurados para o codec G.729 com VAD;
- d) Procedeu-se de forma análoga ao item (a) com os gateways configurados para o codec G.729 sem VAD;

5.6.2 Sem QoS (FIFO), G.711 e sem carga de dados (0%)

A Tabela 5.11 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 sem VAD, rede IP sem QoS (FIFO) e sem carga de dados no enlace. A Tabela 5.12 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.18 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.11 - Medidas de PSQM+ sem QoS (FIFO) com G.711 sem VAD

Masculina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,34	0,9366	4,27	-8,34	Medida 1	0,51	0,2745	4,62	-7,96
Medida 2	0,52	0,2792	4,62	-8,33	Medida 2	0,52	0,2921	4,62	-7,96
Medida 3	0,53	0,2762	4,61	-8,33	Medida 3	0,51	0,2665	4,62	-7,96
Medida 4	0,52	0,2783	4,62	-8,33	Medida 4	0,50	0,2664	4,62	-7,97
Medida 5	0,51	0,2725	4,62	-8,33	Medida 5	0,50	0,2723	4,62	-7,96
Média	0,68	0,4864	4,55	-8,33	Média	0,51	0,2745	4,62	-7,96

Feminina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,65	0,4227	4,58	-8,32	Medida 1	0,64	0,4288	4,58	-7,95
Medida 2	0,65	0,4302	4,58	-8,32	Medida 2	0,65	0,4223	4,58	-7,95
Medida 3	0,65	0,4182	4,58	-8,32	Medida 3	0,65	0,4366	4,58	-7,95
Medida 4	0,65	0,4297	4,58	-8,32	Medida 4	0,65	0,4233	4,58	-7,95
Medida 5	0,65	0,4154	4,58	-8,32	Medida 5	0,63	0,4244	4,58	-7,95
Média	0,65	0,4233	4,58	-8,32	Média	0,64	0,4271	4,58	-7,95

Tabela 5.12 – Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
A -> B	94.725	0.447
B -> A	81.625	0.372

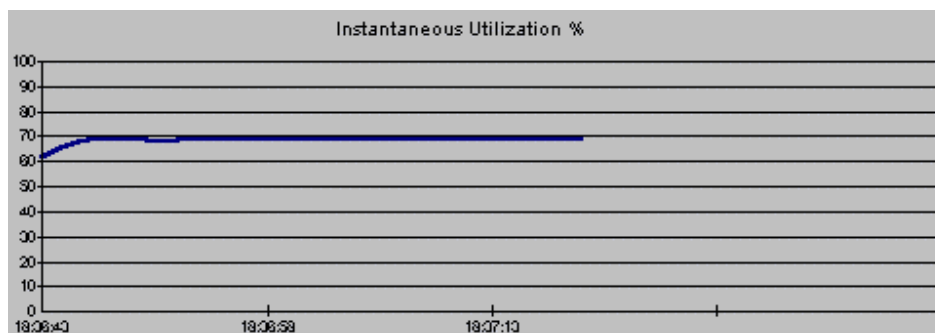


Figura 5.18 – Banda consumida utilizando G.711 sem VAD (tráfego somente de voz)

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (apesar de não haver QoS), pois há somente tráfego de voz. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace corresponde a aproximadamente 1,4Mbit/s (17 x 82kbit/s).

5.6.3 WFQ, G.711 sem VAD e 10% de carga de dados

A Tabela 5.13 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com carga de dados de 10% no enlace. A Tabela 5.14 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.19 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.13 - PSQM+ WFQ G.711 sem VAD 10% de carga de dados

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,50	0,2648	4,62	-7,96
Medida 2	0,51	0,2745	4,62	-7,96
Medida 3	0,51	0,2707	4,62	-7,96
Medida 4	0,51	0,2686	4,62	-7,95
Medida 5	0,51	0,2656	4,62	-7,95
Média	0,51	0,2689	4,62	-7,96

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,64	0,4544	4,58	-7,94
Medida 2	0,63	0,4331	4,59	-7,94
Medida 3	0,65	0,4498	4,58	-7,94
Medida 4	0,65	0,4254	4,58	-7,94
Medida 5	0,64	0,4508	4,58	-7,94
Média	0,64	0,4428	4,58	-7,94

Tabela 5.14 – Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	93.125	0.0

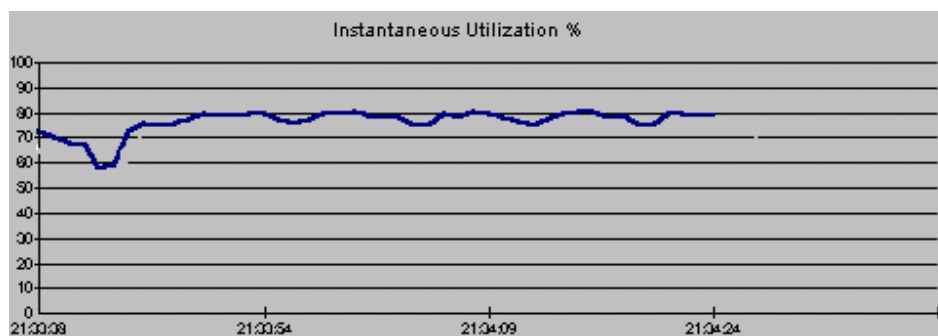


Figura 5.19 - Banda consumida utilizando G.711 sem VAD e carga de 10%

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 10% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace chega a 1,6Mbit/s ($17 \times 82\text{kbit/s} + 10\%$ de carga de dados).

5.6.4 WFQ, G.711 sem VAD e carga complementando a banda

A Tabela 5.15 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com carga de dados complementando a banda do enlace. A Tabela 5.16 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.20 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.15 - PSQM+ WFQ G.711 sem VAD carga complementando a banda

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,51	0,2701	4,62	-7,96
Medida 2	0,51	0,2664	4,62	-7,96
Medida 3	0,51	0,2765	4,62	-7,96
Medida 4	0,50	0,2587	4,62	-7,96
Medida 5	0,50	0,2558	4,62	-7,96
Média	0,51	0,2656	4,62	-7,96

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,65	0,4287	4,58	-7,94
Medida 2	0,64	0,4329	4,58	-7,95
Medida 3	0,64	0,4233	4,58	-7,95
Medida 4	0,64	0,4364	4,58	-7,95
Medida 5	0,63	0,4226	4,58	-7,94
Média	0,64	0,4288	4,58	-7,95

Tabela 5.16 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	93.125	0.0

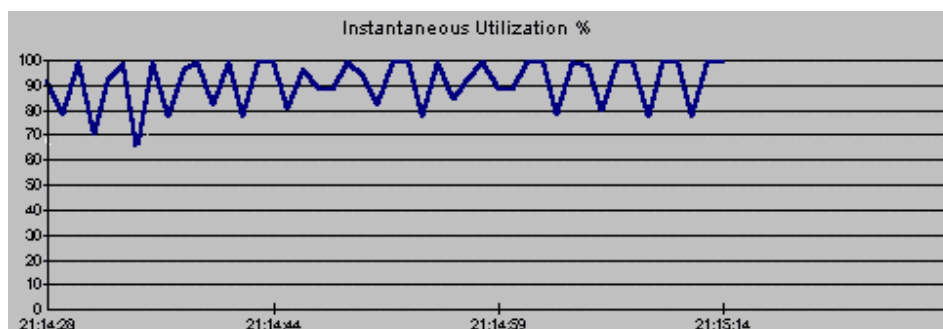


Figura 5.20 - Banda consumida utilizando G.711 sem VAD e carga complementando a banda

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença da carga de dados complementando a banda do enlace), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace chega a 2Mbit/s (17 x 82kbit/s + carga de dados complementando a banda do enlace).

Nota-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar pacotes suficientes para preencher toda a banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.5 Sem QoS (FIFO), G.711 com VAD e sem carga de dados (0%)

A Tabela 5.17 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 com VAD, rede IP sem QoS (FIFO) e sem carga de dados no enlace. A Tabela 5.18 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.21 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.17 - PSQM+ (FIFO) G.711 com VAD

Masculina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,61	1,8303	4,10	-8,34	Medida 1	1,94	1,1696	3,85	-7,97
Medida 2	0,57	0,5519	4,60	-8,34	Medida 2	0,63	0,8450	4,58	-7,97
Medida 3	0,59	0,5926	4,60	-8,34	Medida 3	0,57	0,5897	4,60	-7,96
Medida 4	1,39	1,6732	4,24	-8,33	Medida 4	0,61	0,7908	4,59	-7,97
Medida 5	0,58	0,5917	4,60	-8,34	Medida 5	1,02	1,0062	4,44	-7,96
Média	0,95	1,1963	4,43	-8,34	Média	0,95	0,9019	4,41	-7,97

Feminina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,69	0,6398	4,57	-8,32	Medida 1	0,66	0,5798	4,58	-7,95
Medida 2	0,92	0,8500	4,48	-8,32	Medida 2	1,00	0,8283	4,45	-7,95
Medida 3	0,71	0,6390	4,56	-8,33	Medida 3	0,69	0,6087	4,57	-7,95
Medida 4	0,69	0,5660	4,57	-8,33	Medida 4	0,67	0,7110	4,57	-7,95
Medida 5	0,73	0,7322	4,55	-8,33	Medida 5	0,67	0,5939	4,57	-7,95
Média	0,75	0,6923	4,55	-8,33	Média	0,74	0,6710	4,55	-7,95

Tabela 5.18 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
A -> B	86.275	10.686
B -> A	96.0	0.0

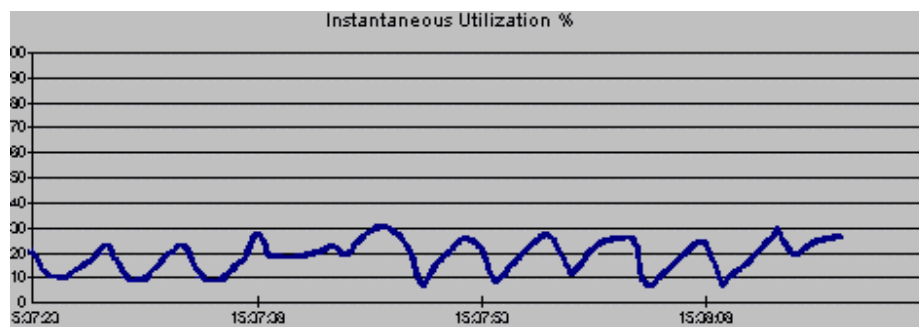


Figura 5.21 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD (somente tráfego de voz)

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (apesar de não haver QoS), pois há somente tráfego de voz. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 400kbit/s, pois a VAD proporcionou um ganho estatístico.

Percebe-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. A causa disso são as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, que começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.6 WFQ, G.711 com VAD e 10% de carga de dados

A Tabela 5.19 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com 10% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.20 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.22 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.19 - PSQM+ WFQ G.711 com VAD 10%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,56	0,6042	4,60	-7,95
Medida 2	0,56	0,5618	4,61	-7,96
Medida 3	0,56	0,5521	4,61	-7,96
Medida 4	1,40	1,6782	4,24	-7,96
Medida 5	0,57	0,5886	4,60	-7,96
Média	0,73	0,9109	4,53	-7,96

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,68	0,5598	4,57	-7,95
Medida 2	0,68	0,6398	4,57	-7,95
Medida 3	0,68	0,5799	4,57	-7,95
Medida 4	0,69	0,6226	4,57	-7,95
Medida 5	0,68	0,6363	4,57	-7,94
Média	0,68	0,6085	4,57	-7,95

Tabela 5.20 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	96.0	0.0

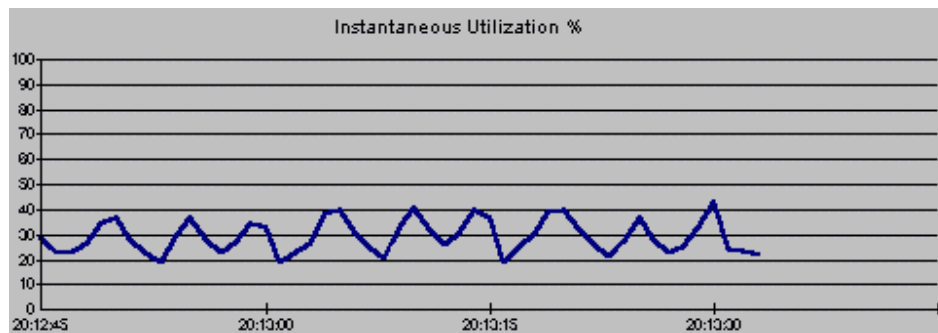


Figura 5.22 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD e carga de 10%

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 10% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 600kbit/s.

Observa-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. A causa disso são as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, que começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.7 WFQ, G.711 com VAD e 50% de carga de dados

A Tabela 5.21 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 com VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com 50% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.22 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.23 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.21 - PSQM+ WFQ G.711 com VAD 50%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,61	0,6540	4,59	-7,96
Medida 2	0,56	0,5633	4,61	-7,96
Medida 3	1,39	1,6666	4,24	-7,96
Medida 4	0,56	0,5609	4,60	-7,96
Medida 5	0,58	0,6232	4,60	-7,96
Média	0,74	0,9193	4,53	-7,96

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,68	0,6157	4,57	-7,95
Medida 2	0,68	0,6174	4,57	-7,95
Medida 3	0,68	0,6440	4,57	-7,95
Medida 4	0,70	0,7462	4,56	-7,95
Medida 5	0,68	0,6636	4,57	-7,95
Média	0,68	0,6591	4,57	-7,95

Tabela 5.22 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	96.0	0.0

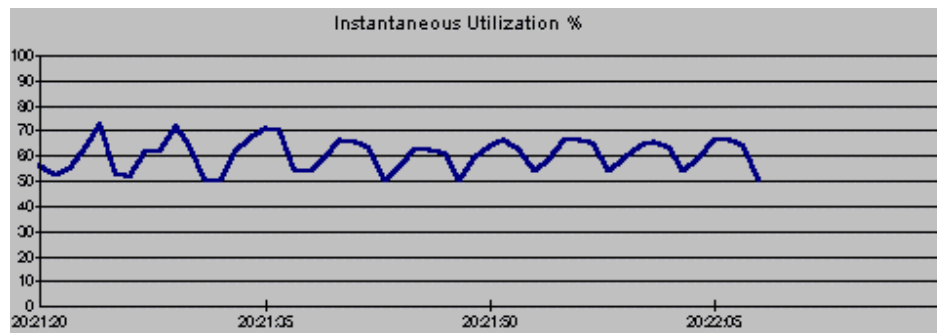


Figura 5.23 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD e carga de 50%

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 50% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 1,2Mbit/s.

Nota-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. A causa disso são as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, que começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.8 WFQ, G.711 com VAD e carga complementando a banda

A Tabela 5.23 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.711 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com carga de dados complementando a banda do enlace. A Tabela 5.24 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.24 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.23 - PSQM+ WFQ G.711 com VAD complementando a banda

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,57	0,5864	4,60	-7,96
Medida 2	0,57	0,6157	4,60	-7,96
Medida 3	0,58	0,5735	4,60	-7,97
Medida 4	0,59	0,8287	4,60	-7,97
Medida 5	0,59	0,6250	4,60	-7,96
Média	0,58	0,6526	4,60	-7,96

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,68	0,6241	4,57	-7,95
Medida 2	0,69	0,5759	4,57	-7,95
Medida 3	0,68	0,5649	4,57	-7,95
Medida 4	0,68	0,5831	4,57	-7,95
Medida 5	0,69	0,6228	4,57	-7,95
Média	0,68	0,6026	4,57	-7,95

Tabela 5.24 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	96.0	0.0

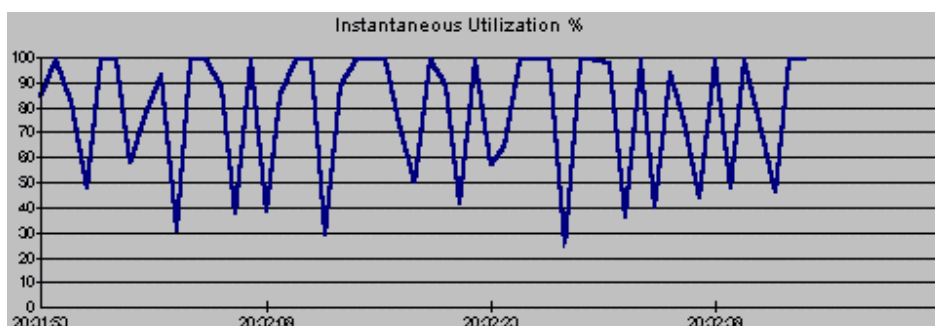


Figura 5.24 - Banda consumida utilizando G.711 com VAD carga complementando a banda

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença da carga de dados complementando a banda do enlace), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace chega a 2Mbit/s.

Nota-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar pacotes

suficientes para preencher toda a banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.9 Sem QoS (FIFO), G.729 sem VAD e sem carga de dados (0%)

A Tabela 5.25 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 sem VAD, rede IP sem QoS (FIFO) e sem carga de dados no enlace. A Tabela 5.26 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.25 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.25 - PSQM+ (FIFO) G.729 sem VAD

Masculina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,63	0,5837	4,09	-8,88	Medida 1	1,60	0,5993	4,11	-8,45
Medida 2	1,66	0,5909	4,07	-8,86	Medida 2	1,59	0,5934	4,12	-8,44
Medida 3	1,64	0,5821	4,08	-8,86	Medida 3	1,59	0,5926	4,11	-8,50
Medida 4	1,62	0,5865	4,10	-8,80	Medida 4	1,60	0,5908	4,11	-8,47
Medida 5	1,62	0,5841	4,09	-8,81	Medida 5	1,63	0,5968	4,09	-8,50
Média	1,63	0,5855	4,09	-8,84	Média	1,60	0,5946	4,11	-8,47

Feminina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,09	0,8995	3,73	-8,81	Medida 1	2,10	0,9038	3,73	-8,47
Medida 2	2,08	0,8933	3,74	-8,85	Medida 2	2,07	0,9014	3,75	-8,45
Medida 3	2,11	0,8963	3,72	-8,86	Medida 3	2,07	0,8943	3,74	-8,49
Medida 4	2,08	0,8813	3,74	-8,82	Medida 4	2,06	0,8843	3,76	-8,48
Medida 5	2,12	0,9121	3,70	-8,86	Medida 5	2,08	0,8918	3,74	-8,50
Média	2,10	0,8966	3,73	-8,84	Média	2,08	0,8951	3,74	-8,48

Tabela 5.26 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
A -> B	97.725	0.447
B -> A	90.5	0.0

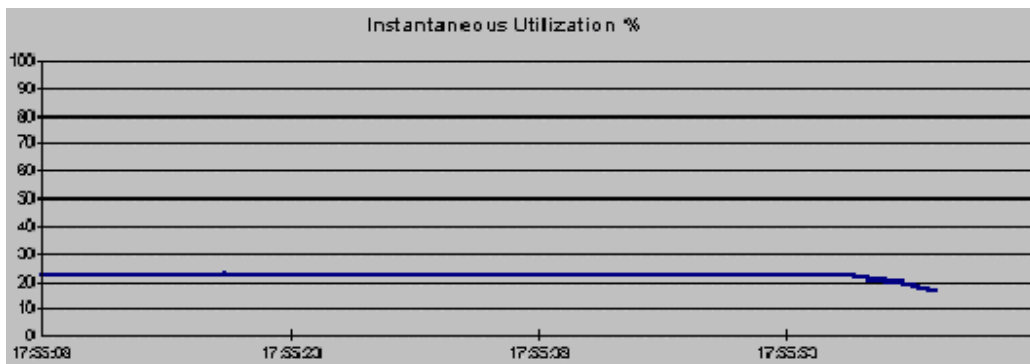


Figura 5.25 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD (somente tráfego de voz)

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (apesar de não haver QoS), pois há somente tráfego de voz. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace corresponde a aproximadamente 440kbit/s ($17 \times 26\text{kbit/s}$).

5.6.10 WFQ, G.729 sem VAD e 10% de carga de dados

A Tabela 5.27 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com 10% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.28 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.26 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.27 - PSQM+ WFQ G.729 sem VAD e 10%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,62	0,6074	4,10	-8,48
Medida 2	1,62	0,6047	4,09	-8,47
Medida 3	1,62	0,5989	4,09	-8,44
Medida 4	1,64	0,6114	4,08	-8,46
Medida 5	1,64	0,6071	4,08	-8,48
Média	1,63	0,6059	4,09	-8,47

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,05	0,8779	3,77	-8,46
Medida 2	2,10	0,9195	3,72	-8,50
Medida 3	2,12	0,9318	3,7	-8,51
Medida 4	2,06	0,8850	3,75	-8,43
Medida 5	2,06	0,8936	3,75	-8,43
Média	2,08	0,9018	3,74	-8,47

Tabela 5.28 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	89.75	0.0

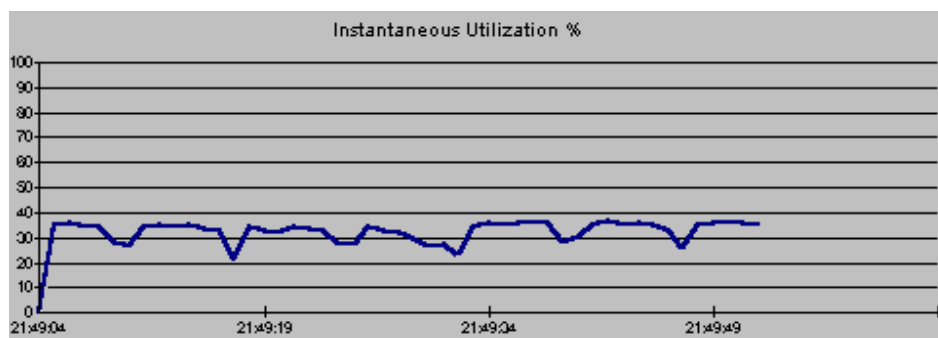


Figura 5.26 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD e carga de 10%

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 10% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace fica em torno de 640kbit/s ($17 \times 26\text{kbit/s} + 10\%$ de carga de dados).

5.6.11 WFQ, G729 sem VAD e 50% de carga de dados

A Tabela 5.29 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com 50% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.30 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.27 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.29 - PSQM+ WFQ G729 sem VAD e 50%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,61	0,5843	4,10	-8,46
Medida 2	1,63	0,6051	4,09	-8,50
Medida 3	1,62	0,6060	4,09	-8,47
Medida 4	1,64	0,5968	4,08	-8,45
Medida 5	1,62	0,5980	4,10	-8,46
Média	1,62	0,5981	4,09	-8,47

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,11	0,9140	3,71	-8,48
Medida 2	2,10	0,9024	3,72	-8,43
Medida 3	2,09	0,9062	3,73	-8,48
Medida 4	2,07	0,8822	3,75	-8,44
Medida 5	2,09	0,9013	3,73	-8,44
Média	2,09	0,9013	3,73	-8,45

Tabela 5.30 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	89.75	0.0

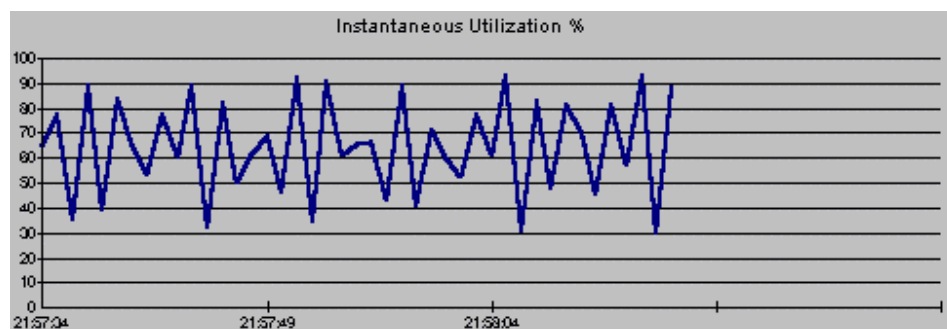


Figura 5.27 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD e carga de 50%

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 50% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 1,3Mbit/s.

Nota-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar pacotes suficientes para preencher a metade da banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.12 WFQ, G729 sem VAD e carga complementando a banda

A Tabela 5.31 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 sem VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com carga de dados complementando a banda do enlace. A Tabela 5.32 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.28 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.31 - PSQM+ WFQ G729 sem VAD e complementando a banda

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,58	0,5774	4,13	-8,52
Medida 2	1,60	0,6014	4,11	-8,49
Medida 3	1,61	0,5930	4,11	-8,47
Medida 4	1,64	0,6087	4,08	-8,49
Medida 5	1,61	0,5987	4,10	-8,44
Média	1,61	0,5959	4,11	-8,48

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,09	0,9086	3,73	-8,43
Medida 2	2,09	0,9154	3,73	-8,47
Medida 3	2,07	0,8966	3,75	-8,52
Medida 4	2,07	0,8956	3,75	-8,47
Medida 5	2,08	0,9011	3,74	-8,43
Média	2,08	0,9035	3,74	-8,46

Tabela 5.32 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	89.75	0.0

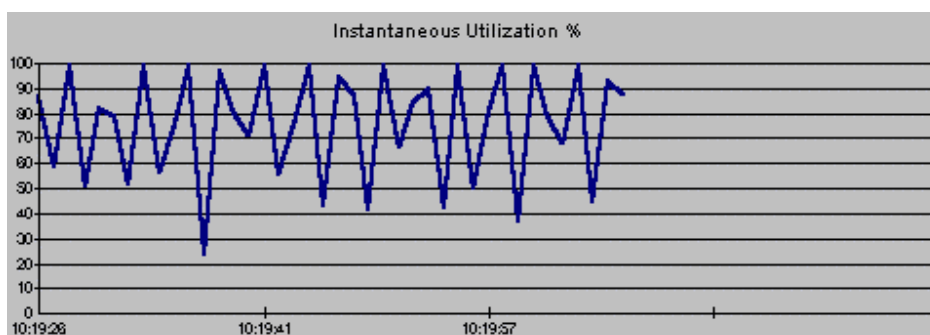


Figura 5.28 - Banda consumida utilizando G.729 sem VAD e carga complementando a banda

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença da carga de dados complementando a banda do enlace), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace chega a 2Mbit/s.

Nota-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar pacotes

suficientes para preencher toda a banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.13 Sem QoS (FIFO), G.729 com VAD e sem carga de dados (0%)

A Tabela 5.33 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 com VAD, rede IP sem QoS (FIFO) e sem carga de dados no enlace. A Tabela 5.34 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.29 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.33 - PSQM+ FIFO G.729 com VAD

Masculina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,32	1,4101	3,52	-8,98	Medida 1	1,79	0,8503	3,97	-8,64
Medida 2	1,80	0,7909	3,97	-8,96	Medida 2	1,76	0,9056	4,00	-8,64
Medida 3	1,70	0,7219	4,04	-8,94	Medida 3	1,79	0,8388	3,98	-8,66
Medida 4	1,77	0,7711	3,99	-8,93	Medida 4	1,74	0,7122	4,01	-8,63
Medida 5	2,34	1,4626	3,50	-9,04	Medida 5	1,78	0,7810	3,98	-8,60
Média	1,99	1,0834	3,80	-8,97	Média	1,77	0,8202	3,99	-8,63

Feminina									
A --> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,14	0,9659	3,69	-8,91	Medida 1	2,20	1,1152	3,63	-8,73
Medida 2	2,28	1,1263	3,56	-9,07	Medida 2	2,24	1,0388	3,6	-8,66
Medida 3	2,25	1,0917	3,58	-9,18	Medida 3	2,17	1,0475	3,66	-8,64
Medida 4	2,18	1,0579	3,66	-9,03	Medida 4	2,16	0,9830	3,67	-8,56
Medida 5	2,26	1,0328	3,58	-9,14	Medida 5	2,24	1,1055	3,6	-8,70
Média	2,22	1,0563	3,61	-9,07	Média	2,20	1,0591	3,63	-8,66

Tabela 5.34 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
A -> B	93.725	14.429
B -> A	96.25	0.0

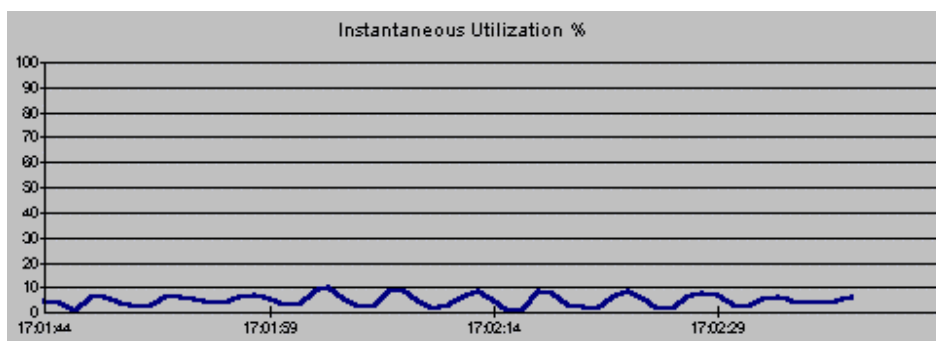


Figura 5.29 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD (tráfego somente de voz)

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (apesar de não haver QoS), pois há somente tráfego de voz. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 100kbit/s, pois a VAD proporcionou um ganho estatístico.

Nota-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. A causa disso são as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, que começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.14 Sem QoS (FIFO), G729 com VAD e 10% de carga de dados

A Tabela 5.35 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 com VAD, rede IP sem QoS (FIFO) e com 10% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.36 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.30 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.35 - PSQM+ FIFO G729 com VAD e 10%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,74	1,6241	3,08	-8,61
Medida 2	2,25	1,0474	3,59	-8,66
Medida 3	1,90	0,9142	3,89	-8,64
Medida 4	2,14	1,1134	3,68	-8,70
Medida 5	1,83	0,8311	3,95	-8,65
Média	2,17	1,1403	3,64	-8,65

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,19	0,9707	3,65	-8,60
Medida 2	2,18	1,0258	3,65	-8,60
Medida 3	2,23	1,1039	3,6	-8,69
Medida 4	2,43	1,2785	3,41	-8,68
Medida 5	2,18	1,0261	3,65	-8,62
Média	2,24	1,0863	3,59	-8,64

Tabela 5.36 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	86.0	14.606

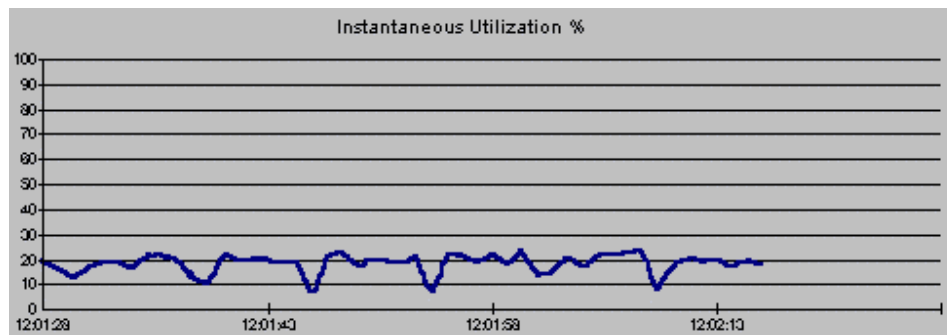


Figura 5.30 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 10%

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (apesar de não ter QoS e haver 10% de carga de dados), pois o tráfego concorrente é pequeno e causa ligeira perturbação. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 350kbit/s.

Percebe-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. A causa disso são as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, que começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.15 Sem QoS (FIFO), G729 com VAD e 50% de carga de dados

A Tabela 5.37 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 com VAD, rede IP sem QoS (FIFO) e com 50% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.38 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.31 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.37 - PSQM+ FIFO G729 com VAD e 50%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	4,60	2,4699	1,69	-10,77
Medida 2	5,52	2,8736	1,31	-9,95
Medida 3	6,00	2,9167	1,11	-10,75
Medida 4	6,39	3,0017	1,02	-10,38
Medida 5	5,25	2,8513	1,42	-9,89
Média	5,55	2,8286	1,31	-10,35

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	4,83	2,6373	1,59	-10,04
Medida 2	6,28	3,0015	1,05	-10,85
Medida 3	5,58	2,6446	1,28	-10,69
Medida 4	6,26	3,0364	1,05	-10,71
Medida 5	6,34	3,0692	1,03	-10,86
Média	5,86	2,8844	1,20	-10,63

Tabela 5.38 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	148.0	8.165

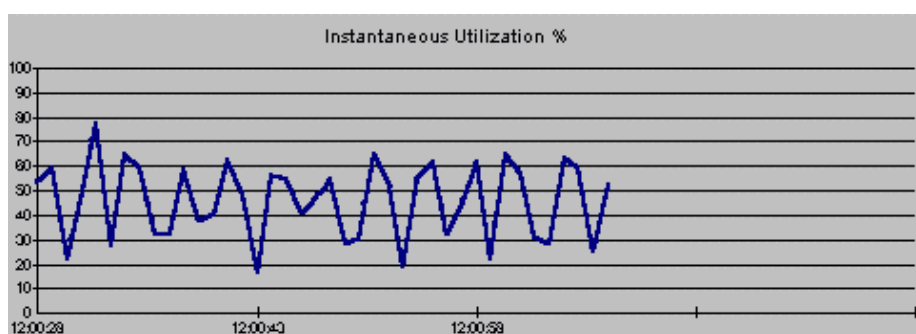


Figura 5.31 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 50%

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão muito ruins, pois não há QoS e o tráfego concorrente é considerável e causa grandes perturbações. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 1Mbit/s.

Observa-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar

pacotes suficientes para preencher a metade da banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.16 Sem QoS (FIFO), G729 com VAD e carga complementando a banda

Não foi possível efetuar as medidas de PSQM+ nesta condição. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A Tabela 5.39 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.32 mostra a banda utilizada no enlace atingindo 2Mbit/s.

Tabela 5.39 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	138.0	0.0

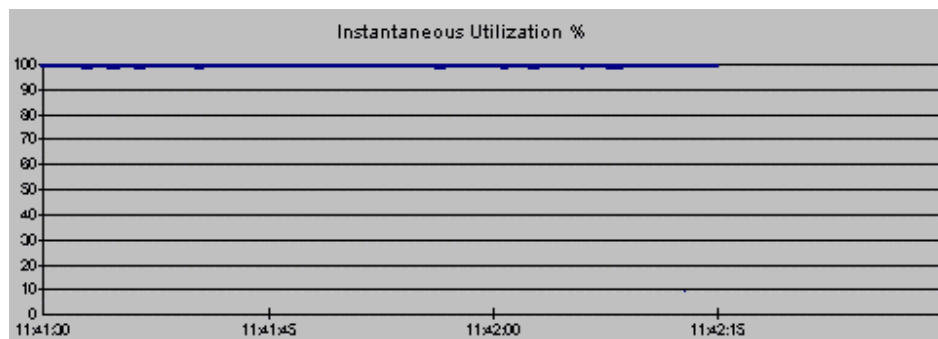


Figura 5.32 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga complementando a banda.

5.6.17 WFQ, G.729 com VAD e 10% de carga de dados

A Tabela 5.40 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 com VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com 10% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.41 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.33 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.40 - PSQM+ WFQ G.729 com VAD 10%

Masculina				
B -> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	1,82	0,9378	3,95	-8,78
Medida 2	1,77	0,8249	3,99	-8,81
Medida 3	1,87	0,9839	3,91	-8,80
Medida 4	1,70	0,7196	4,04	-8,85
Medida 5	1,74	0,7712	4,01	-8,72
Média	1,78	0,8533	3,98	-8,79

Feminina				
B -> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,14	0,9904	3,69	-8,61
Medida 2	2,13	0,9771	3,70	-8,70
Medida 3	2,22	1,1395	3,61	-8,74
Medida 4	2,12	0,9974	3,71	-8,76
Medida 5	2,15	1,0280	3,67	-8,77
Média	2,15	1,0282	3,68	-8,72

Tabela 5.41 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	97.0	0.0

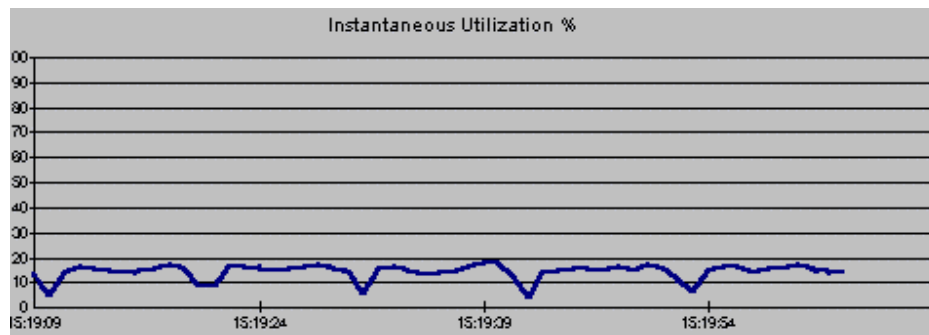


Figura 5.33 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 10%

Observa-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 10% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 300kbit/s.

Percebe-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. A causa disso são as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, que começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.18 WFQ, G.729 com VAD e 50% de carga de dados

A Tabela 5.42 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 com VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com 50% de carga de dados no enlace. A Tabela 5.43 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.34 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.42 - PSQM+ WFQ G.729 com VAD 50%

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,04	0,9880	3,77	-8,67
Medida 2	2,08	0,9259	3,74	-8,69
Medida 3	2,04	0,8850	3,77	-8,59
Medida 4	2,22	1,0645	3,62	-8,72
Medida 5	2,77	1,3859	3,05	-8,61
Média	2,23	1,0649	3,59	-8,66

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,56	1,2543	3,28	-8,67
Medida 2	2,58	1,2656	3,26	-8,59
Medida 3	2,82	1,4410	3	-8,52
Medida 4	2,47	1,2748	3,38	-8,60
Medida 5	2,55	1,2277	3,3	-8,57
Média	2,60	1,2949	3,24	-8,59

Tabela 5.43 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	97.0	0.0

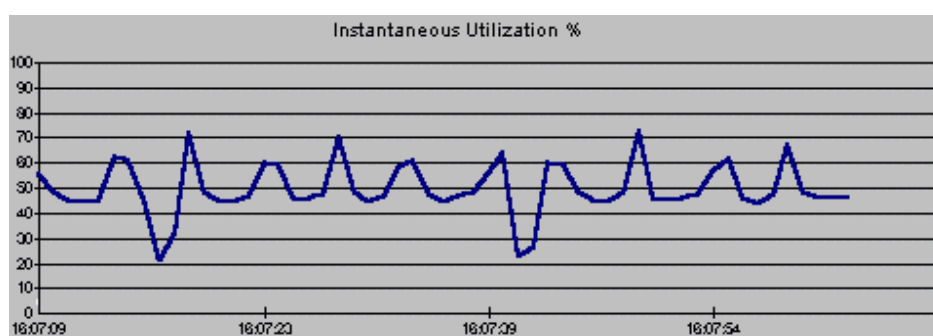


Figura 5.34 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga de 50%

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de 50% de carga de dados), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda média ocupada no enlace fica em torno de 1Mbit/s.

Observa-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar

pacotes suficientes para preencher a metade da banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.6.19 WFQ, G.729 com VAD e carga complementando a banda

A Tabela 5.44 mostra as medidas de PSQM+ nas seguintes condições: codec G.729 com VAD, rede IP com QoS (WFQ) e com carga de dados complementando a banda do enlace. A Tabela 5.45 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas. A Figura 5.35 mostra a banda utilizada no enlace durante as medidas.

Tabela 5.44 - WFQ G.729 com VAD complementando a banda

Masculina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,46	1,1302	3,39	-8,67
Medida 2	2,65	1,1378	3,19	-8,64
Medida 3	1,84	0,8298	3,93	-8,68
Medida 4	2,12	0,9332	3,70	-8,67
Medida 5	2,66	1,1568	3,17	-8,63
Média	2,35	1,0459	3,48	-8,66

Feminina				
B --> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	2,57	1,2524	3,27	-8,78
Medida 2	2,71	1,2481	3,11	-8,51
Medida 3	2,35	0,9753	3,5	-8,63
Medida 4	2,18	0,9867	3,65	-8,57
Medida 5	2,31	1,1476	3,53	-8,75
Média	2,42	1,1285	3,41	-8,65

Tabela 5.45 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
B -> A	93.0	12.383

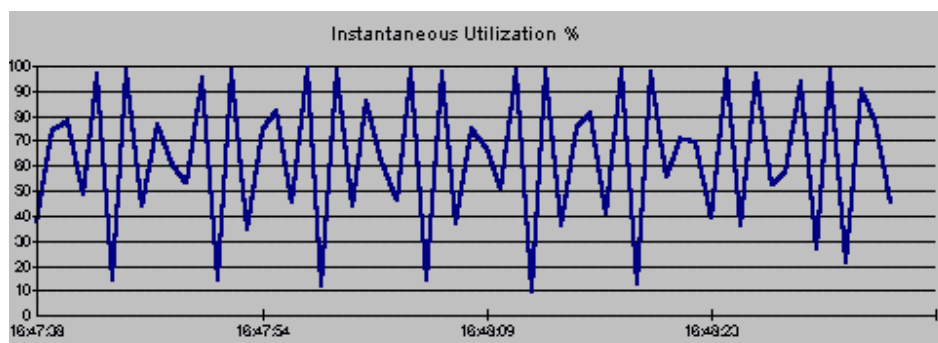


Figura 5.35 - Banda consumida utilizando G.729 com VAD e carga complementando a banda

Nota-se que as medidas de PSQM+ estão dentro do esperado (mesmo na presença de carga de dados complementando a banda), pois o WFQ propicia QoS. O atraso fim-a-fim está dentro da faixa considerada adequada. A banda ocupada no enlace chega a 2Mbit/s.

Percebe-se que a banda ocupada tem um comportamento que varia no tempo de forma “ondulatória”. Isto se deve a dois motivos: i) o IPerf não consegue, em determinados momentos, gerar pacotes suficientes para preencher toda a banda; ii) as 16 conversações (chamadas), presentes durante os testes, começam e terminam praticamente ao mesmo tempo.

5.7 PSQM+, TDM

A Tabela 5.46 mostra as medidas de PSQM+ na rede PSTN para fins ilustrativos. A Tabela 5.47 mostra a média obtida do atraso fim-a-fim após 5 medidas consecutivas.

Tabela 5.46 - PSQM+ na rede TDM (PSTN)

Masculina									
A -> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B -> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,42	0,2048	4,64	-8,45	Medida 1	0,41	0,1895	4,64	-8,07
Medida 2	0,42	0,2125	4,64	-8,45	Medida 2	0,41	0,1936	4,64	-8,07
Medida 3	0,42	0,2072	4,64	-8,44	Medida 3	0,41	0,2038	4,64	-8,07
Medida 4	0,42	0,2113	4,64	-8,45	Medida 4	0,40	0,1835	4,64	-8,07
Medida 5	0,42	0,2112	4,64	-8,44	Medida 5	0,42	0,2000	4,64	-8,07
Média	0,42	0,2094	4,64	-8,45	Média	0,41	0,1942	4,64	-8,07

Feminina									
A -> B	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)	B -> A	PSQM+ Médio	Desvio Padrão	MOS Estimado	Atenuação (dB)
Medida 1	0,54	0,3074	4,61	-8,44	Medida 1	0,51	0,2971	4,62	-8,06
Medida 2	0,53	0,2958	4,61	-8,44	Medida 2	0,51	0,2949	4,62	-8,06
Medida 3	0,52	0,2944	4,62	-8,44	Medida 3	0,52	0,3039	4,62	-8,06
Medida 4	0,53	0,2965	4,61	-8,44	Medida 4	0,51	0,2867	4,62	-8,06
Medida 5	0,52	0,2928	4,62	-8,44	Medida 5	0,51	0,2913	4,62	-8,06
Média	0,53	0,2974	4,61	-8,44	Média	0,51	0,2948	4,62	-8,06

Tabela 5.47 - Atraso fim-a-fim

Sentido	Atraso médio [ms]	Desvio padrão
A -> B	8.95	0.365
B -> A	9.375	0.0

5.8 Gráficos comparativos

A Figura 5.36 ilustra a comparação dos valores de PSQM+ obtidos nas diversas condições de medida.

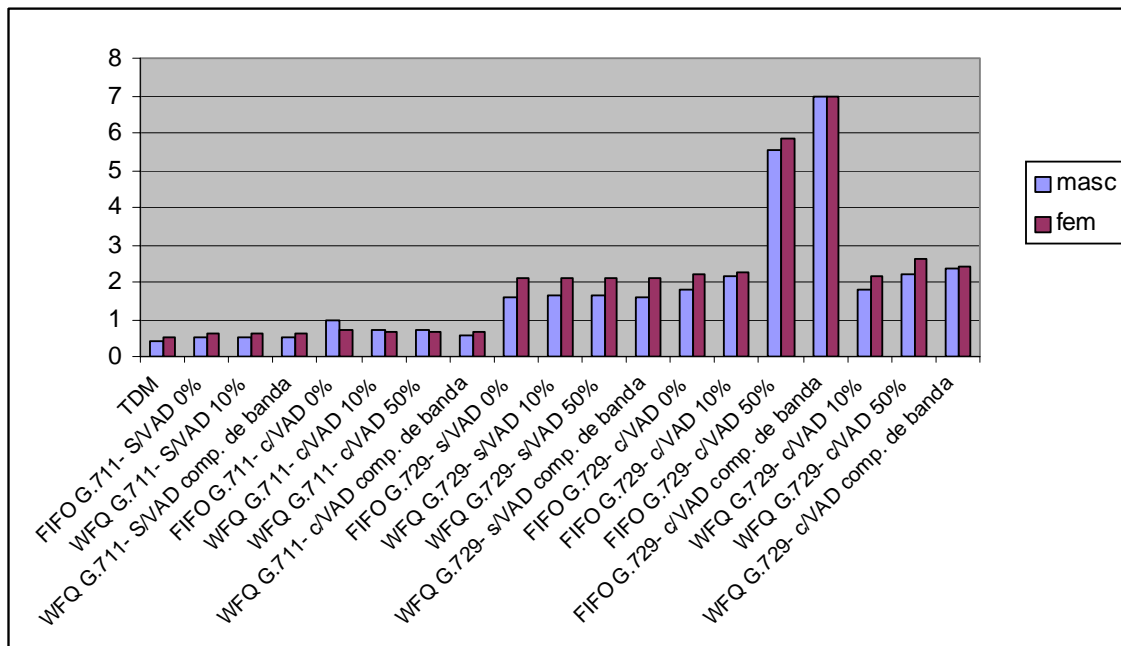


Figura 5.36 - Comparação do PSQM+ obtido nas diversas condições

Percebe-se que as medidas de PSQM+ com o codec G.711 apresentam um desempenho praticamente constante na presença de QoS e muito próximo do obtido na PSTN (TDM). A presença da VAD (combinada com a carga de dados) degradou ligeiramente a qualidade da voz.

Utilizando-se o codec G.729 o desempenho também é praticamente constante na presença de QoS. A presença da VAD (combinada com a carga de dados) degradou ligeiramente a qualidade da voz. Na ausência de QoS (FIFO) e com 10% de carga de dados ocorre uma pequena degradação na qualidade da voz, mas nas condições de carga com 50% e complementando a banda a degradação é muito severa.

Observa-se, também, que na maioria das medidas a voz masculina tem um desempenho superior comparada a voz feminina, evidenciando que os codecs estão mais otimizados para a voz masculina.

A Figura 5.37 ilustra a comparação dos valores de atraso fim-a-fim obtidos nas diversas condições de medida.

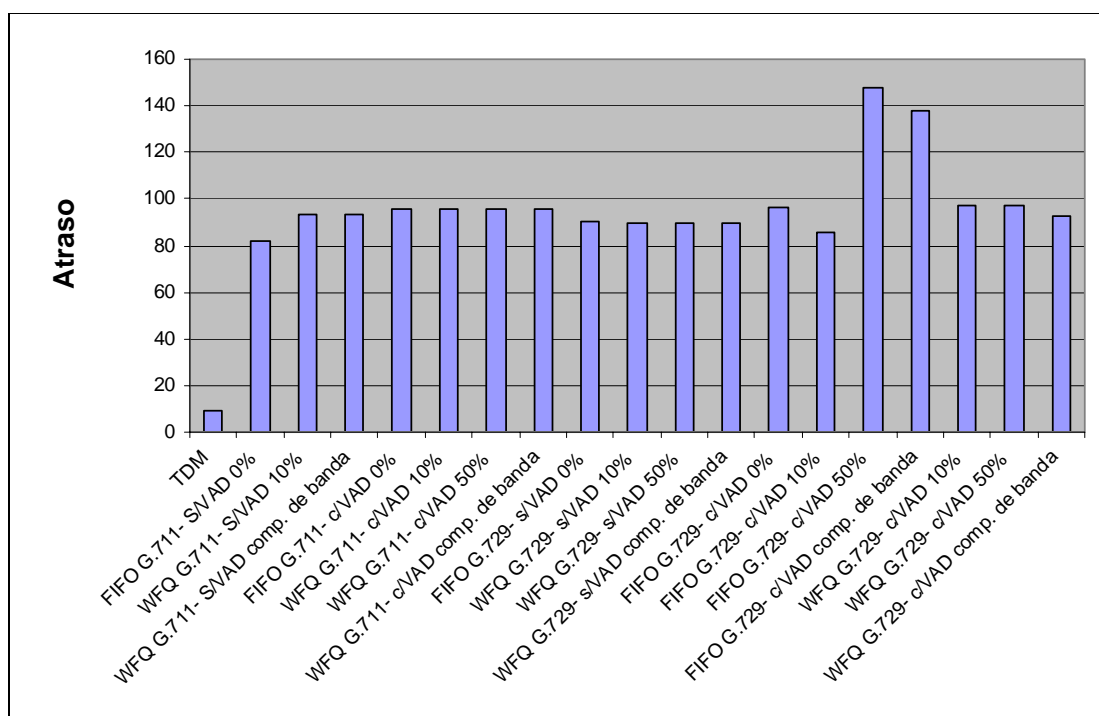


Figura 5.37 - Comparação do atraso fim-a-fim obtido nas diversas condições

Observa-se que as medidas de atraso fim-a-fim (com exceção de 2 medidas) situam-se abaixo dos 100ms. Tal resultado demonstra que o atraso fim-a-fim está adequado, pois até 250ms a qualidade é considerada quase “*toll*”. Mesmo as 2 medidas acima de 100ms estão nesta categoria.

5.9 PSQM+ no cenário DiffServ/MPLS

Um possível trabalho futuro interessante é realizar medidas de PSQM+ e atraso no cenário DiffServ na rede cliente e DiffServ sobre MPLS na rede *backbone*, uma vez que é uma solução amplamente ofertada pelos principais provedores de serviços de rede nacionais e internacionais^{10,11}.

Referências Bibliográficas

- ¹ http://www.home.agilent.com/cgi-bin/pub/agilent/Product/cp_Product.jsp?NAV_ID=-536891778.536882651.00&NAV_FROM_REF=-536885778.536882799.00&LANGUAGE_CODE=eng&CONTENT_KEY=26297&ID=26297&COUNTRY_CODE=US
- ² <http://www.shunra.com/newsroom/release/releaseDetail.php?r=19>
- ³ <http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/rt/2600/index.shtml>
- ⁴ <http://www.percompany.com.br/sniffer.html>
- ⁵ <http://leonidvm.chat.ru/>
- ⁶ <http://www.home.agilent.com/USeng/nav/-536891774.536882754/pd.html?ID=31012>
- ⁷ <http://www.portaldigitro.com.br/plataformas/sitest/index.php>
- ⁸ <http://www.noc.ucf.edu/Tools/Iperf/default.htm>
- ⁹ “Cisco Multi-Service Network Planning Guide”, white paper, www.cisco.com/warp/public/cc/pd/rt/2600/tech/st10_wp.htm
- ¹⁰ “Formação de rede, IP VPN, EMBRATEL”, http://www.embratel.com.br/Embratel02/cda/portal/0,2997,MG_P_614,00.html
- ¹¹ “Businesses follow carriers' MPLS lead”, <http://www.networkworld.com/news/2005/052305mplscon.html?net>

Capítulo 6

Conclusão

Foi apresentada uma revisão dos protocolos e mecanismos relativos a qualidade de serviço (QoS) em redes IP. Foram descritos vários aspectos do impacto sistêmico provocado pelos efeitos da presença ou ausência de tais protocolos e mecanismos nas redes IP, tais como degradações na qualidade de voz e no tempo do estabelecimento de uma conexão (chamada).

Foi apresentada uma revisão dos diversos métodos de avaliação da qualidade da voz com ênfase nos métodos automáticos (objetivos e repetitivos) para auxiliar na análise dos efeitos na voz dos diversos fatores presentes em uma rede de pacotes, tais como perda de pacote, atraso e *jitter*, bem como a própria codificação da voz em baixas taxas.

Foi apresentada uma revisão dos principais protocolos de sinalização utilizados para implementação de voz sobre IP (VoIP) ou telefonia sobre IP, evidenciando-se seus pontos fortes e fracos com relação a facilidade de implementação, extensibilidade e adequabilidade para várias aplicações de rede e qualidade de serviço (QoS).

Para caracterização dos efeitos dos fatores de rede no tempo de estabelecimento de uma chamada foi utilizado o *software* Cloud da Shunra (para a simulação da rede IP), onde foi possível tratar de forma isolada a influência da perda de pacote, do atraso fixo, do atraso variável (*jitter*) bem como do efeito conjunto da perda de pacote e *jitter*. Para capturar os pacotes e analisá-los foi utilizado o *software* Sniffer Basic. A partir dos pacotes capturados foi possível medir o tempo do estabelecimento da conexão (chamada) considerando-se os tempos registrados de início e fim do estabelecimento da conexão.

A perda de pacote simulada foi aleatória e a medida que a porcentagem da perda de pacote se aproximou de 10% o tempo de estabelecimento da conexão apresentou um comportamento aproximadamente linear, atingindo um tempo de estabelecimento médio de 43 s com 25% de perda. A partir de 10% de perda as medidas estão acima dos tempos previstos, por exemplo, na recomendação E.721 (que é no máximo 8 s).

Para o atraso fixo a influência foi praticamente linear. Como são necessárias várias mensagens para se estabelecer a chamada e a cada mensagem é somado um atraso fixo, o resultado final ficou na ordem de segundos, mas dentro dos tempos previstos na rec. E.721.

A influência do *jitter* foi também praticamente linear e abaixo dos tempos previstos na rec. E.721.

Para perda de pacote e *jitter*, o efeito que prevaleceu, como esperado, foi o da perda, atingindo valores de tempo de estabelecimento em torno de 43 s, na condição de 25% de perda e 225 ms de *jitter* médio.

Para caracterização dos efeitos dos fatores de rede na qualidade da voz foi utilizado o *software* Cloud da Shunra (para a simulação da rede IP).

Para as medidas de PSQM+ em função da porcentagem da perda de pacotes, considerando os codecs G.711 e G.729 e também a presença ou não da detecção de voz (VAD), mostrou-se um comportamento praticamente linear. O compromisso banda consumida versus qualidade de voz se caracteriza quando observa-se o codec G.711 tendo um desempenho superior ao G.729. Mesmo na presença de 15% de perda de pacotes o codec G.711 apresentou uma avaliação média de PSQM+ de 2,19 (MOS estimado de 3,10). A presença do VAD faz com que o efeito da perda de pacotes seja ligeiramente mais perceptível.

As medidas de atraso fim-a-fim utilizando os codecs G.711 e G.729 apresentaram valores dentro da faixa considerada adequada (menor que 250 ms).

Para a verificação do consumo de banda foi utilizado o *software* STG e registrou-se a cada 170 ms o valor apresentado. Foram medidos os codecs G.711 e G.729 com e sem VAD e com e sem compressão

de cabeçalhos RTP/IP/UDP. Comprovou-se o ganho médio em banda quando se utiliza o VAD e também a redução de banda quando se utiliza a compressão dos cabeçalhos RTP/IP/UDP.

Em uma rede IP experimental foram efetuadas medidas de PSQM+, atraso fim-a-fim e consumo de banda.

Foram realizadas medidas de PSQM+ com e sem carga de dados, no enlace de acesso que interligava os roteadores, para estabelecer a competição entre pacotes de voz e dados e se comprovar a atuação do mecanismo de QoS WFQ. Foram testados os codecs G.711 e G.729 com e sem VAD e carga de dados de 0%, 10%, 50% e complementando a banda disponível no enlace. Observou-se que a partir de 10% de carga sem mecanismo de QoS nos roteadores (FIFO), a voz é degradada de forma severa, pois não existe tratamento que priorize os pacotes de voz.

Uma vez configurado o WFQ nos roteadores a qualidade da voz é sempre preservada, evidenciando a atuação apropriada do mecanismo de QoS.

As medidas de atraso demonstraram que o atraso fim-a-fim está adequado, pois até 250ms a qualidade é considerada quase “*toll*”.

Pode-se dizer que o objetivo proposto de demonstrar, através de medidas, a relação entre a qualidade de voz e as diferentes condições de rede, evidenciando tanto as degradações da voz na ausência de qualidade de serviço na rede IP convencional (onde os roteadores processam os pacotes em suas filas com o mecanismo FIFO) quanto a preservação da qualidade da voz quando a rede IP utiliza os mecanismos e protocolos de QoS foi alcançado.

Os resultados experimentais demonstram a viabilidade técnica da utilização da voz sobre IP (ou telefonia IP) pelos provedores de serviço, bem como pelas corporações privadas, utilizando-se de alguns mecanismos e protocolos de QoS existentes e podendo trafegar voz e dados em uma mesma rede IP convergente.

Nota-se que existem, pelo menos, dois cenários possíveis para a prestação do serviço de VoIP: com e sem QoS. No caso sem QoS, surgem soluções como, por exemplo, o Skype onde o usuário se utiliza do serviço VoIP através da Internet com um compromisso custo versus qualidade que o satisfaz. Já com QoS, o usuário, geralmente, tem um custo adicional, pois se utiliza de uma rede IP (com QoS) proprietária do provedor de rede. A utilização de um ou outro cenário depende das necessidades do usuário.

A medida que mais usuários se interessam por VoIP na Internet, atraídos pela facilidade e baixo custo envolvidos, as questões a serem tratadas pelos provedores de rede e de serviço VoIP poderão tomar como referência as situações simuladas e testadas neste trabalho.

Um possível trabalho futuro interessante é realizar medidas de PSQM+ e atraso (com e sem carga de dados) com a combinação dos protocolos DiffServ e MPLS para se comprovar a eficiência desta solução de rede para aplicações em tempo real, pois já é amplamente utilizada pelos provedores de serviço de rede.

Maiores estudos são requeridos nos aspectos de dimensionamento de tráfego para um melhor planejamento das redes de próxima geração (NGN) bem como a continuidade na padronização dos protocolos tanto de QoS quanto de sinalização e das interfaces entre os planos da arquitetura NGN. A qualidade de serviço entre domínios administrativos distintos também é objeto de estudo.

Também merecem atenção especial os estudos de qualidade de serviço em redes IP para as aplicações de vídeo-conferência. Nesses casos, além do áudio, existe toda a caracterização do vídeo, que carece de um método objetivo de avaliação.

Apêndice A

VoIP e NGN

Em contraste ao ambiente fechado das redes tradicionais PSTN nas quais a introdução de novos serviços requer um longo ciclo de padronização e implementação, a arquitetura simples e aberta¹ da rede IP possibilita a implantação rápida de novos serviços e a integração de várias tecnologias, tais como web, jogos e mensagens com o serviço de voz.

Já é possível vislumbrar o impacto da tecnologia VoIP quer pela sua aplicação em escala cada vez maior na própria Internet pública de hoje (sem garantia de qualidade de serviço) através da utilização, por exemplo, do Netmeeting ou Skype quer pela crescente adoção pelos provedores de serviço e corporações trazendo-lhes economia e abrindo novas perspectivas de mercado.

A.1 Característica da NGN

As principais características da tecnologia NGN são as seguintes:

- Tecnologias do Núcleo da Rede: Uso do IP como um mecanismo de transporte universal sobre tecnologias de redes de acesso e *backbone* com características diversas. As tecnologias de núcleo da rede são principalmente focadas no IP sobre o SDH e no IP sobre WDM/DWDM.

- Evolução da Rede de Acesso: As tecnologias emergentes tais como o xDSL, fibra no loop (FTTx), WLL banda larga são consideradas como as soluções viáveis que oferecem acesso banda larga aos usuários finais.

- Camada de Transporte: A camada de transporte está baseada em pacotes usando o protocolo IP. É responsável por fornecer a conectividade sobre as redes residenciais, de acesso e do núcleo. A insuficiência de endereços IP no IPv4 para suportar os novos tipos de terminais (telefones IP, terminais multimídia) e redes (3G) significa de que será necessária uma migração para o IPv6.

- Mecanismos de QoS nas Redes baseadas em pacotes: Há uma clara necessidade na camada de transporte das redes NGN para prover QoS. Um dos métodos relativamente simples e grosseiro de fornecer classes de serviço diferenciadas ao tráfego IP para suportar vários tipos de aplicações é a padronização do campo 'DS' (RFCs 2474 e 2475). Os serviços diferenciados definem níveis de QoS qualitativos e escalam bem em grandes domínios IP. Esta abordagem emprega um pequeno conjunto bem definido de blocos a partir do qual uma variedade de serviços pode ser construída provendo QoS.

- Controle de sessão: Serviços de Sessão: A noção da sessão é um elemento primário em NGN. A noção de sessão representa as evoluções e o desenvolvimento natural do controle de chamada nos sistemas atuais de telecomunicação. Tal sessão representa a evolução e desenvolvimento natural na NGN de uma visão abstrata pelo domínio do serviço dos recursos relacionados a conexão necessários para entregar um serviço específico. O uso atual de uma sessão reflete a noção de voz e vídeo-conferência. Os servidores da sessão podem prover serviços multimídia multipartes interativos. As múltiplas qualidades ou os graus desses serviços necessitam ser suportados.

- Serviços de rede: Os serviços mais importantes em NGN são os seguintes:

- . Serviços de Mobilidade: *roaming* global entre tipos diferentes de tecnologias sem fio pode ser provido através do uso do IP móvel (MIP). É a solução que o IETF propôs como padrão para lidar com a mobilidade terminal entre sub-redes IP e foi projetado para permitir que um *host* mude transparentemente seu ponto de ligação. Embora o IP móvel seja um protocolo de mobilidade poderoso que escala razoavelmente com o número de usuários em uma rede apresenta alguma

fraqueza para os *hosts* com movimentos rápidos. Os esquemas de gerência da mobilidade IP hierárquica/multicamada especificam que a mobilidade do *host* deve ser tratada onde se origina, a saber, na rede de acesso. Tais esquemas incluem o IP móvel hierárquico, o uso de protocolos de micromobilidade na rede de acesso e o IP móvel na parte do núcleo.

. Serviços AAA: Os serviços AAA fornecem funções tais como autenticação, autorização e contabilidade. Esta infra-estrutura foi projetada principalmente para atender as necessidades emergentes da telefonia celular para o serviço móvel de dados a uma grande população.

. Serviços de Segurança: Estes incluem o uso de IPsec (inerentemente incluído no IPv6) e de *firewall* para a criação das VPNs IP que podem ser consideradas como entidades de aplicação chave. Outros aspectos importantes dos mecanismos de segurança incluem o uso do infra-estrutura do PKI para impulsionar os serviços, tais como o Comércio Eletrônico.

- Uso de APIs abertas: Uma barreira chave na arquitetura NGN é o uso de APIs abertas. Um esforço de padronização de tal API foi realizado por iniciativas, tais como Parlay e JAIN. Uma barreira chave ao desenvolvimento de serviços de valor adicionado em um ambiente verdadeiramente aberto de serviço é a falta de interfaces padronizadas para a criação, a gerência e a implantação do serviço que pode ser usada por não especialistas para desenvolverem serviços de valor adicionado usando métodos e ferramentas de desenvolvimento comerciais de *software*. Estas interfaces abertas podem mesmo ser ajustadas pelos usuários finais que desejam criar, personalizar e configurar serviços para atingir suas próprias necessidades. Na NGN os serviços são criados ou por clientes ou por provedores. Os serviços criados pelos usuários finais são mais provavelmente personalizados e configurados a partir dos serviços existentes ao invés da fundamentalmente nova lógica da chamada. Parece mais realístico ter os serviços criados baseados em regras, isto é, determinadas circunstâncias provocam determinadas ações, similar a como os agentes dos usuários de e-mail, por exemplo, suportam a filtragem, encaminhamento e preenchimento das mensagens.

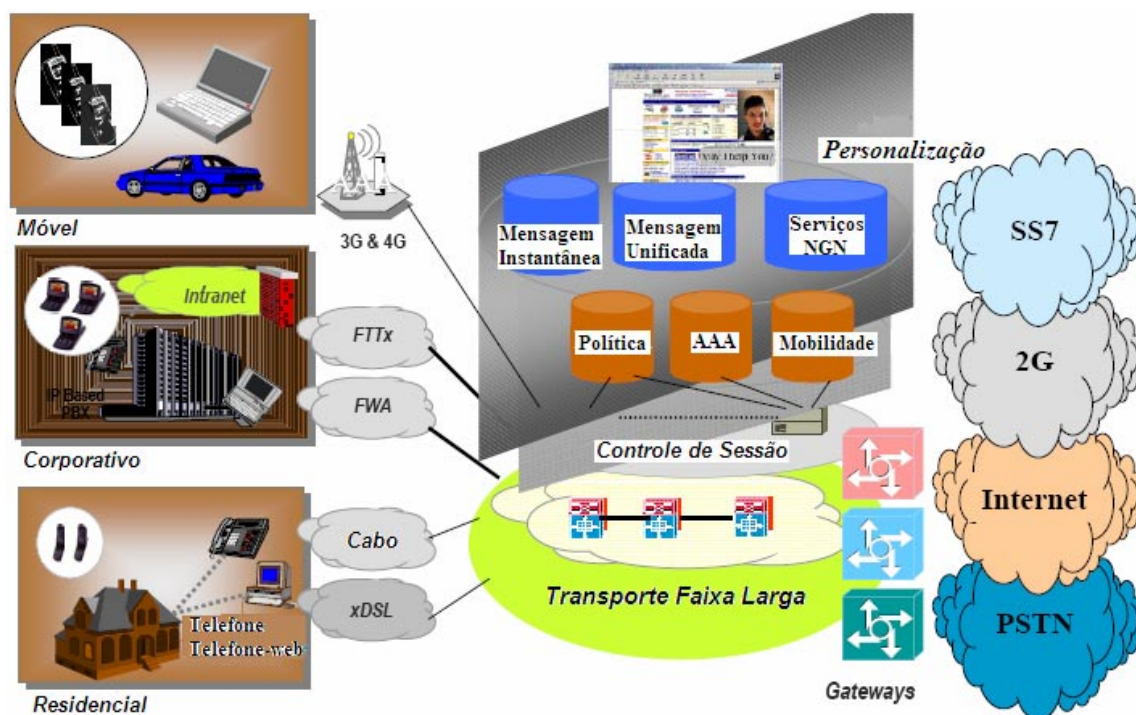


Figura A.1 – Rede de Próxima Geração (NGN)¹

A.2 VoIP em NGN

A tecnologia VoIP como um serviço catalizador para a NGN deve exibir as seguintes características: confiabilidade (confiabilidade do meio de transporte, uso de plataformas *hardware* altamente confiáveis e redundantes e inteligência de controle distribuída), escalabilidade (capacidade de lidar com milhares de sessões, produtos que emulem o comportamento de comutação por circuito), totalmente multimídia (combinação de voz, dados e vídeo, cardápio rico de serviços e definir o termo sessão ao invés do termo chamada), suporte multiparceria e multiconexão, serviços personalizados pelo usuário final (armazenamento de informações de clientes em um repositório único e facilmente acessível e uso de APIs abertas permitindo ao usuário final personalizar os serviços de acordo com suas necessidades), conformidade com padrões industriais (permitindo a integração de subsistemas *hardware* e *software* de fornecedores diferentes e soluções de interfuncionamento entre padrões diferentes), sistemas BSS (*Business Support System*) e OSS (*Operation Support System*) flexíveis (avaliação e faturamento, atendimento ao cliente melhorado), mensagem instantânea e unificada (modificações dinâmicas e reposição de conteúdo, uso de uma variedade dos terminais para enviar e receber mensagens). A Figura A.2 seguinte ilustra o caráter da transição.

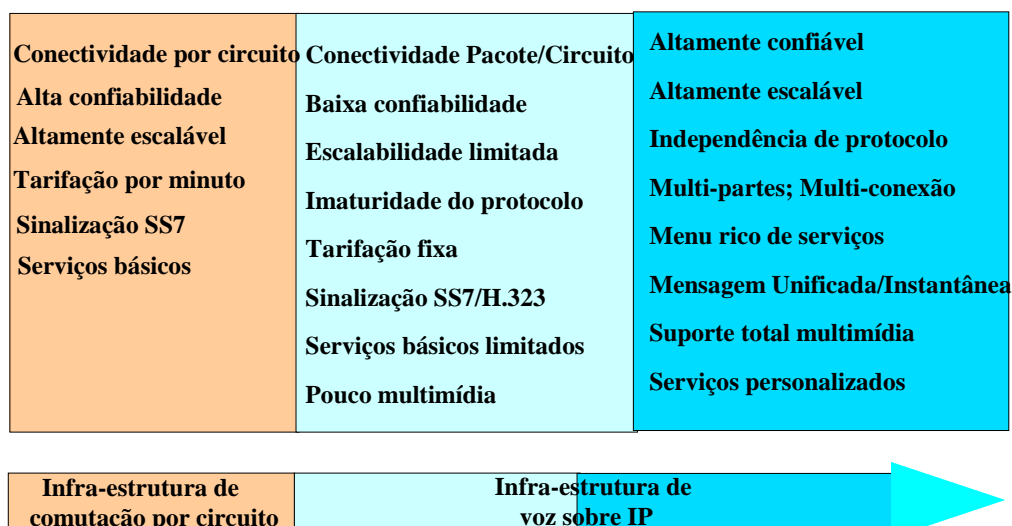


Figura A.2 – Características da transição para os serviços VoIP¹

A seguir apresenta-se algumas das barreiras que estão sendo resolvidas a fim se acelerar a implantação da tecnologia VoIP.

Confiabilidade: Os serviços VoIP são apresentados, geralmente, como uma alternativa menos confiável, mas mais barata em relação aos serviços tradicionais da PSTN. Entretanto, com a melhoria do projeto de rede e o declínio nos preços de equipamento e serviços, a confiabilidade tem alcançado rápido progresso e este argumento não é mais tão forte.

Qualidade do serviço: já há uma larga escala de soluções propostas para suportar uma comunicação em tempo real na Rede IP tal como o modelo dos serviços integrados, o modelo dos serviços diferenciados, redes MPLS e bem elaboradas. A experiência em usar estas soluções em cenários grandes e realísticos começa a acontecer.

AAA, segurança e NAT/Firewall Transversal: tanto na área de controle de QoS quanto no provisionamento de serviços uma infra-estrutura segura e escalável de autenticação, autorização e contabilidade é requerido. Além disso, outro grande obstáculo para o uso em larga escala das

tecnologias VoIP em redes corporativas é a dificuldade de ter dados VoIP e o tráfego de sinalização através dos *firewalls* e NATs. Isto inclui interfaces e protocolos investigados para controlar tais mediadores componentes e extensões novos necessários que permitam a implantação de VoIP sobre os atuais *firewalls* e NATs.

Suporte a Multi-conexão, multi-partes e multimídia: VoIP é uma tecnologia chave em NGN para prover serviços do multi-partes, multi-conexão e multimídia.

Criação de Serviço: Uma das maiores atrações da VoIP é a possibilidade de utilizar a conhecida tecnologia da web para a rápida criação de serviços inovadores. Neste contexto vários mecanismos tais como CPL (*Call Processing Language*), CGI (*Common Gateway Interface*), JAIN (*Java APIs for Integrated Networks*) e Parlay foram propostos assim como diferentes abordagens de arquitetura para combinar serviços diferentes em novos. Neste contexto não é claro ainda que tipo de serviços está sendo implementado e o mais problemático em como integrar estes serviços em uma bem definida e segura infra-estrutura de contabilidade e faturamento a fim garantir um retorno do investimento ao provedor.

Regulamentações Governamentais: tanto em redes PSTN móveis quanto fixas existem regulamentações governamentais estritas no que diz respeito a duplicação de fiação, a serviços de emergência e várias outras questões. Especialmente a questão de chamadas de emergência é de importância máxima, a medida que a VoIP não permitiria substituir um serviço tradicional PSTN se não pudesse prover esta característica. Com este serviço, uma chamada é dirigida diretamente as estações de polícia ou a uma ambulância que esteja mais próxima ao chamador baseado na posição geográfica do chamador. Enquanto os números da PSTN representam geralmente uma posição geográfica, o número IP não. No mundo PSTN fixo a posição geográfica de um chamador é derivada de seu número E.164. Nas redes móveis esta informação é derivada da identidade da célula na qual o usuário está situado atualmente. No contexto dos serviços VoIP os números IPs e URLs são usados para identificar dispositivos e usuários. Para permitir chamadas de emergência tais identidades devem ser acopladas com posições geográficas. Nesta parte diferentes métodos que realizam tal acoplamento estão sendo investigados bem como estratégias apropriadas para introduzir tais serviços.

Padronização: Há muitos fora de padronização que olham para a VoIP de diferentes ângulos. Tais fora incluem IETF, ETSI, ITU, 3GPP, IN Forum, Wireless Internet Forum e muitos outros.

A Figura A.3 mostra a cronologia aproximada dos principais marcos.

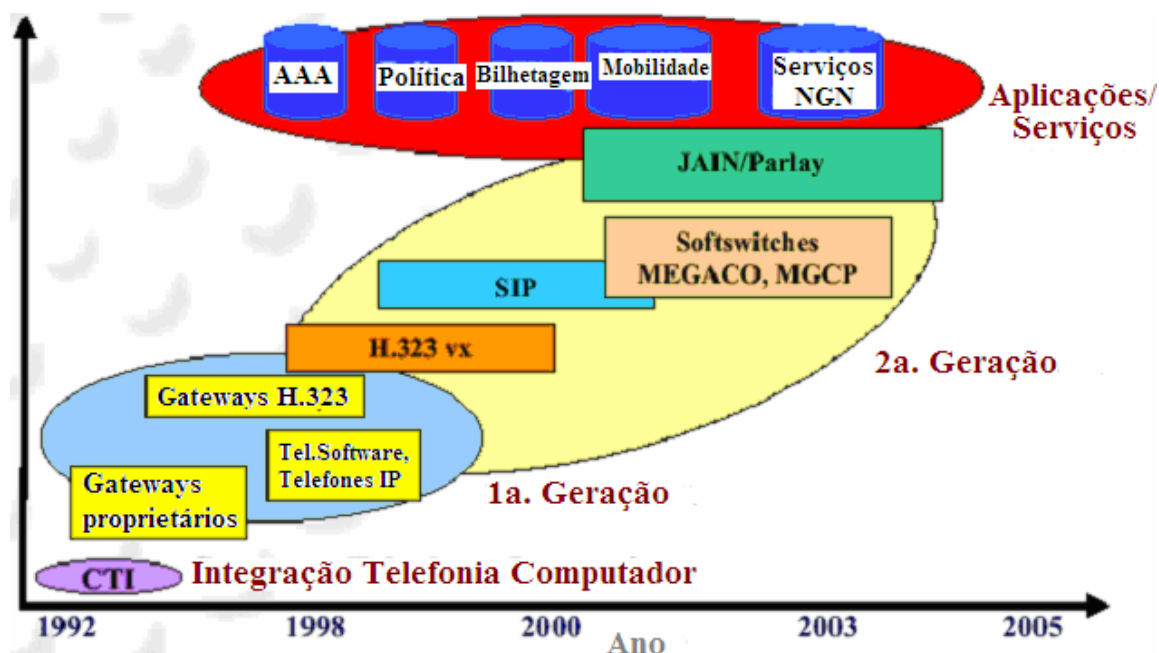


Figura A.3 – Cronologia aproximada dos marcos principais

A.3 Estratégias para migração das redes telefônicas em direção às redes de próxima geração

A.3.1 Uma estrutura geral para a migração a NGN

Em mercados com um elevado crescimento nos serviços tradicionais de voz (que é o caso da maioria dos países em desenvolvimento) extensões substanciais são requeridas à rede telefônica existente a fim cobrir a enorme necessidade de novas linhas. Os provedores de serviço estabelecidos têm que decidir em como estender suas redes: usar soluções mais tradicionais de comutação por circuito ou implementar uma arquitetura de rede distribuída com uma camada de transporte comum baseada em pacote para voz e dados².

Para que isto ocorra muitos aspectos como consolidação da rede, expansão e migração necessitam ser levados em consideração e de uma maneira que seja específica para cada operadora. Entretanto pode se planejar com os passos de uma abordagem genérica como segue:

Passo 1: uso da rede atual baseada em TDM para a telefonia de voz e acesso a Internet;

Passo 2: consolidação do equipamento de comutação e acesso;

Passo 3: introdução da tecnologia da voz sobre pacote no entroncamento;

Passo 4: introdução da tecnologia de voz sobre pacote no acesso e no CPE;

Passo 5: serviços multimídia e novas aplicações;

Passo 6: substituição no fim da vida útil da infra-estrutura legada e migração para uma sinalização totalmente IP.

Os passos descritos são genéricos no sentido de que não são mandatórios para o caso específico de cada operadora. Além disso, oferecem o interesse destacando os principais passos evolucionários das redes que podem ocorrer nos anos seguintes. Cada etapa será discutida brevemente a seguir.

A.3.2 PSTN para Voz e Internet

O ponto inicial para a migração a NGN é a atual Rede Telefônica Pública Comutada (ou RTPC ou PSTN em inglês) como ilustrado na Figura A.4.

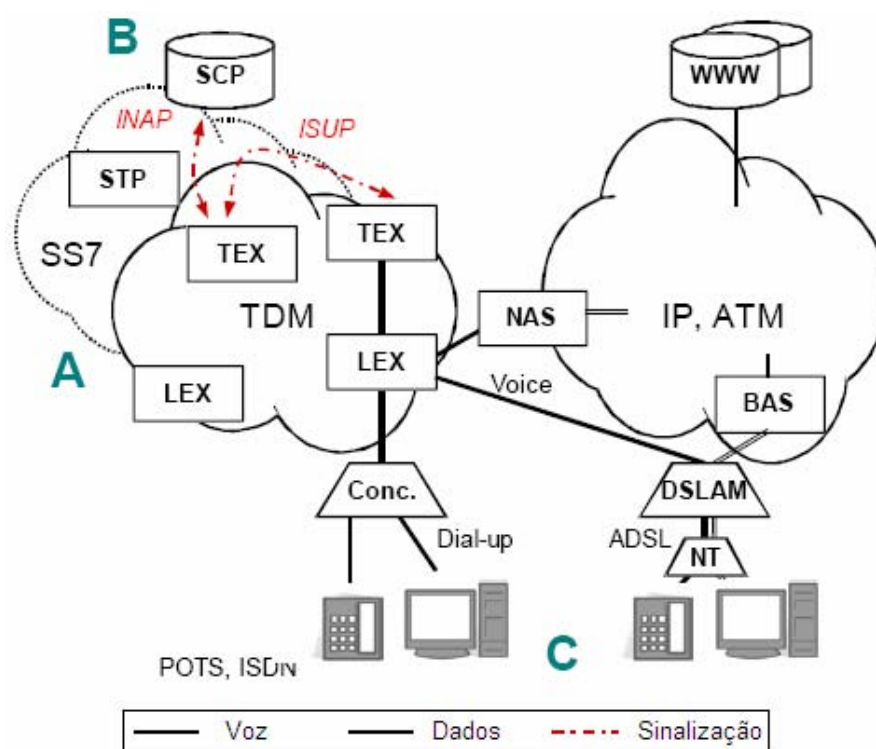


Figura A.4 – Passo 1: PSTN para voz e Internet²

A.3.2.1 TDM e SS7[A]

Nesta rede todo o tráfego de voz é transportado sobre o TDM e controlado por uma hierarquia de comutadores local (LEX ou Classe 5) e trânsito (TEX/Classe 4). Toda a rede de sinalização relacionada a voz (ISUP e INAP) é tratada pela rede de sinalização SS7.

A.3.2.2 Serviços de Rede Inteligente [B]

Serviços de valor adicionado são providos pelos comutadores, ou através da rede inteligente (RI, IN em inglês). Os serviços amplamente difundidos incluem serviços de cartão de chamada, serviços de tradução de número e roteamento (tais como o fone grátis, taxa e número universal de acesso) e serviços de rede corporativa (tais como Redes Virtuais Privadas e Centrex).

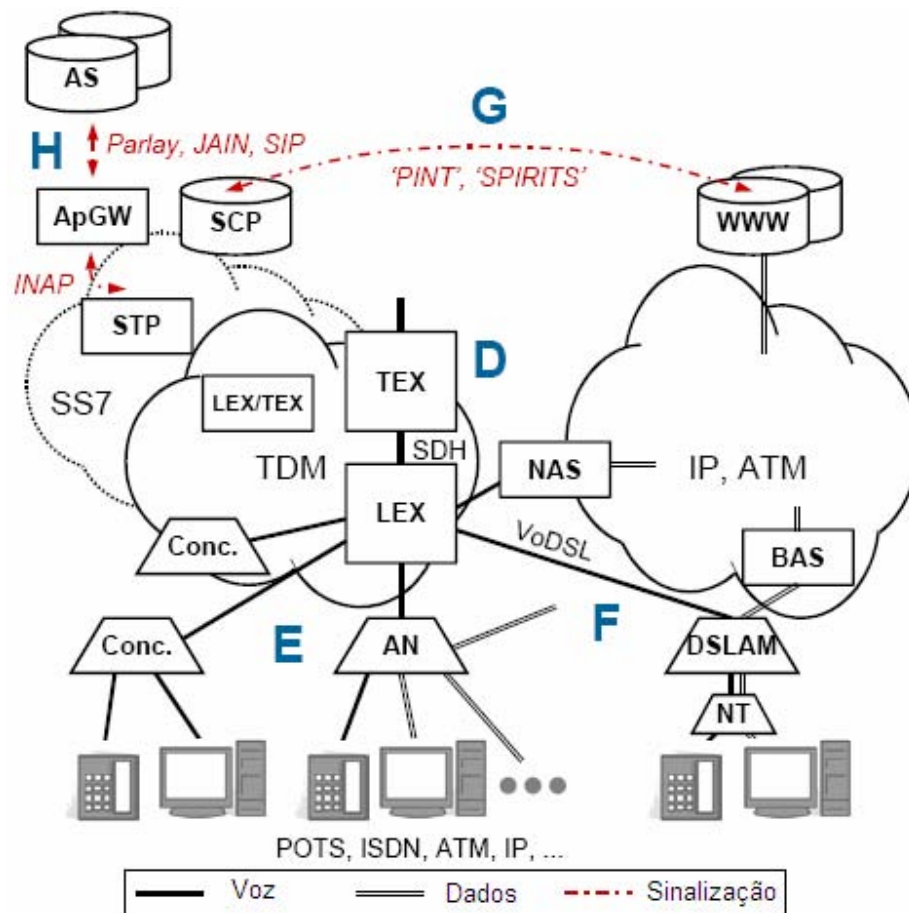
A.3.2.3 Acesso Internet [C]

Com o número crescente de usuários Internet as operadoras estão provendo a conectividade aos Provedores do Serviço de Internet (ISP) ou através dos serviços discados faixa estreita (PSTN ou ISDN), ou através da introdução do ADSL faixa-larga (com a voz como um serviço separado).

A.3.3 Consolidação da PSTN

As operadoras estabelecidas em mercados crescentes têm maiores despesas de capital (CAPEX) para estender a capacidade de sua rede com o crescimento dos assinantes. Estes investimentos são necessários em todos os níveis da rede, em nível local bem como na rede de longa distância.

Uma abordagem segura (do ponto de vista técnico bem como econômico) deve começar com a consolidação da infra-estrutura existente da PSTN enquanto seleciona produtos "não-prontos" para a expansão e a introdução de novos serviços para a geração de receita adicional como ilustrado na Figura A.5:

Figura A.5 – Consolidação da PSTN²

A.3.3.1 Consolidação da Comutação [D]

A implantação de um pequeno número de grandes centrais (local e trânsito) com capacidade de comutação aumentada e interfaces de alta velocidade (por exemplo, SDH, ATM) reduzem as despesas operacionais (OPEX) da operadora e permitem uma implantação mais rápida de novos

serviços. Os comutadores "redundantes" podem ser convertidos a concentradores de acesso remoto adicionais.

A introdução de uma nova tecnologia com, por exemplo, menor espaço de memória, ou matrizes de comutação de pacote dentro das centrais permitem que a operadora reduza as despesas e re-use o equipamento de comutação para novos serviços de dados.

A.3.3.2 Consolidação do Acesso [E] e VoDSL [F]

Adicionar novos nós de acesso e atualizar os existentes deixa a operadora capitalizar em sua PSTN enquanto estende a área da cobertura e a banda oferecida aos assinantes individuais (fibra próxima do usuário final). A nova tecnologia de acesso provê o acesso multiserviço de forma transparente à voz (POTS, ISDN) e aos serviços de dados (ADSL, ATM, IP...) e facilita o caminho às Redes da Próxima Geração (NGN).

A otimização da infra-estrutura de acesso ADSL é realizado através da introdução dos serviços de emulação de *loop* de Voz sobre DSL (VoDSL) (*gateway* inverso, com uma conexão V5.2/GR303 ao LEX).

A.3.3.3 Serviços de Convergência IN-Internet [G]

Provendo um servidor externo a PSTN e a Internet, o Ponto de Controle do Serviço (SCP) da IN pode ser usado como um meio de integrar voz e dados em aplicações comuns.

Exemplos de aplicação de convergência IN-Internet são Clique-para-Disar, Espera de Chamada na Internet, Chamada na Web, Mensagem Unificada, etc. A fim de comunicar com os servidores na Internet, o SCP tem que adotar alguns suites de protocolo do IETF (por exemplo, PINT e SPIRITS).

A.3.3.4 Acesso a Serviço Aberto [H]

Para se preparar para a NGN e ter receita extra dos novos serviços, a operadora da rede pode implantar *Gateways* de Aplicação (ApGW) com interfaces abertas (por exemplo, OSA/Parlay, JAIN, SIP) para os Servidores de Aplicação (AS) (terceiros).

A.3.4 Voz sobre Pacote para o Entroncamento

Como um dos objetivos básicos da introdução da NGN é mover para uma única infra-estrutura baseada em pacote (presumido com OPEX e CAPEX mais baixos) o transporte da voz migrará suavemente à tecnologia IP ou ATM.

Inicialmente, as operadoras focalizarão em cenários de entroncamento para descarregar a voz de longa distância de sua rede TDM. Isto é ilustrado na Figura A.6.

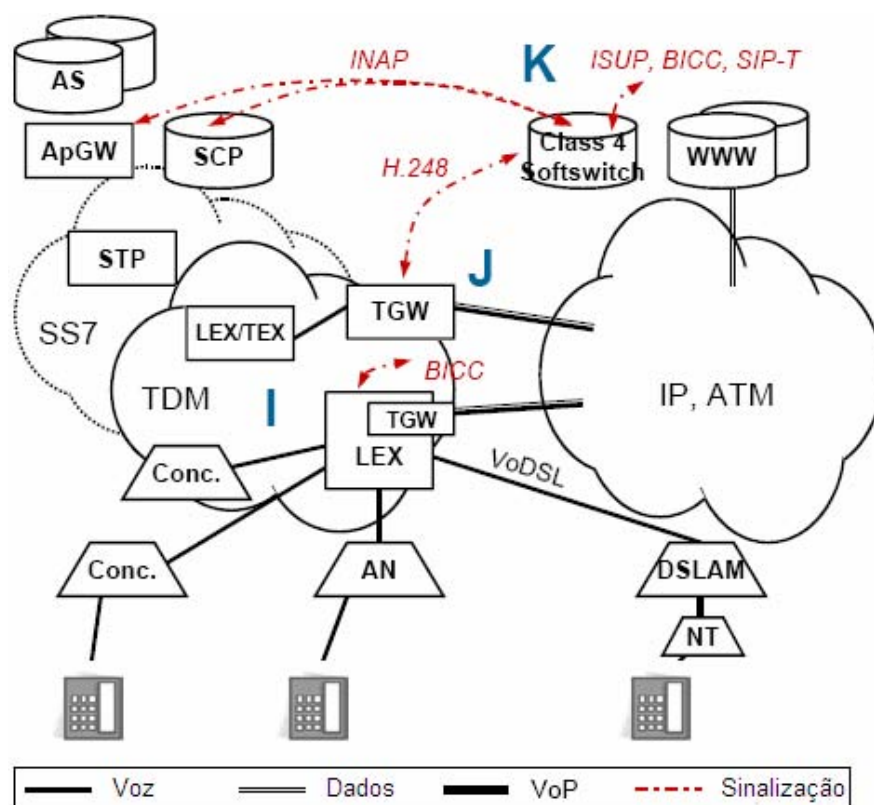


Figura A.6 – Voz sobre Pacote para o Entroncamento²

A.3.4.1 Entroncamento através de Gateways Integrados [I]

O primeiro passo para a migração de VoP é estender as centrais existentes (locais) com os Gateways integrados de Entroncamento (TGW) para converter a voz TDM em pacotes (ATM ou IP). Esta abordagem garante a total proteção dos investimentos em TDM, ao prover a operadora uma solução testada, totalmente entroncamento sobre pacote, bem como o acesso continua baseado na comutação e nos Serviços de Valor Adicionado baseados na IN.

A.3.4.2 TGW [J] com Softswitch Classe 4 [K]

A fim de tratar os comutadores existentes sem integração com um gateway, gateways de entroncamento externos (TGW) controlados por um Softswitch classe 4 (com o protocolo H.248/Megaco) podem ser adicionados. Do ponto de vista funcional, o Softswitch desempenha como uma Central Classe 4 (Toll/Trânsito), com características similares (por exemplo, seleção e roteamento), interfaces de sinalização (ISUP, INAP) e acesso aos Serviços de Valor Adicionado (IN).

A.3.5 Voz sobre Pacote para o Acesso

Em mercados de rápido crescimento ou em mercados com implantação agressiva de acesso faixa larga (ADSL, LMDS, cabo) as operadoras podem introduzir a tecnologia do voz sobre pacote para capturar o crescimento na rede de acesso, ou como um meio de descarregar as Centrais Locais do DSL.

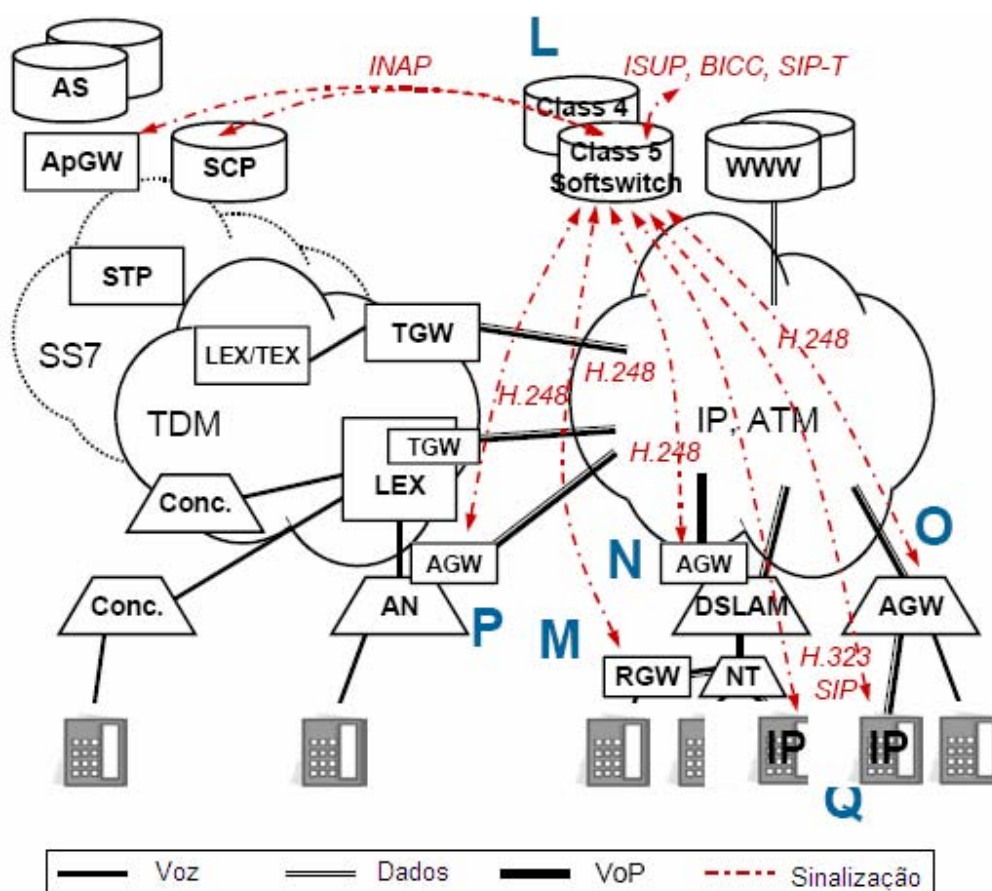


Figura A.7 – Voz sobre Pacotes no acesso e CPE²

A.3.5.1 Softswitch Classe 5 [L]

O *Softswitch* Classe 5 com as características locais (por exemplo, CLASS, chamada personalizada) é um elemento de controle compartilhado, mas diversas alternativas para os gateways de voz (dependendo da topologia dos usuários finais, densidade, requisitos de serviço, etc) podem ser implantadas (Figura A.8). Apenas no caso da Classe 4 o *Softswitch* tratará os gateways usando o protocolo H.248 /Megaco (ou MGCP).

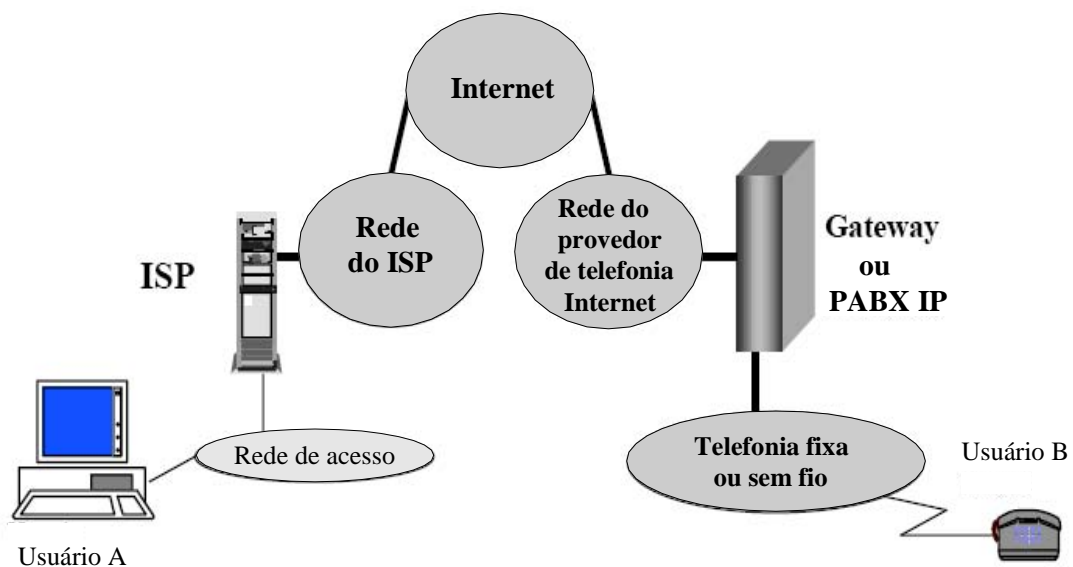


Figura A.8 – Telefonia IP, PC a Telefone ou Telefone a PC²

A.3.5.2 Gateway Residencial [M]

Os assinantes ADSL podem instalar um *Gateway* Residencial (RGW) ou o Dispositivo Integrado do Acesso (IAD) com capacidade de codificar VoP. Ao contrário do ADSL com separação da voz [B] ou soluções de emulação de *loop* VoDSL [E] o RGW provê ao usuário faixa larga voz sobre pacote fim-a-fim.

A.3.5.3 Gateway de Acesso no DSLAM [N]

Como uma alternativa para atualizar o CPE de seus assinantes, uma operadora de ADSL pode escolher estender os DSLAMs com a funcionalidade de *gateway* de VoP.

A.3.5.4 Gateways de Acesso Distribuídos [O, P]

Uma outra solução para conectar os assinantes de voz diretamente à rede de dados é introduzir os novos *Gateways* de Acesso [AGW] ou atualizar os nós de acesso existentes com a funcionalidade de AGW.

A.3.5.5 Telefones IP [Q]

A fim de tratar os terminais de voz de nova geração (Telefones IP), o *Softswitch* Classe 5 pode também terminar os protocolos de sinalização usuário-rede, tais como H.323 e SIP.

A.3.6 Introdução da Multimídia

É inquestionável que num futuro próximo (e mesmo a médio prazo) a voz continuará a ser o serviço predominante, mesmo nas Redes de Próxima Geração. A introdução do acesso faixa larga na rede, entretanto, permite a implantação de uma nova faixa de serviços de dados e multimídia. Estes novos serviços permitem que as operadoras se diferenciem e compitam com as novas entrantes.

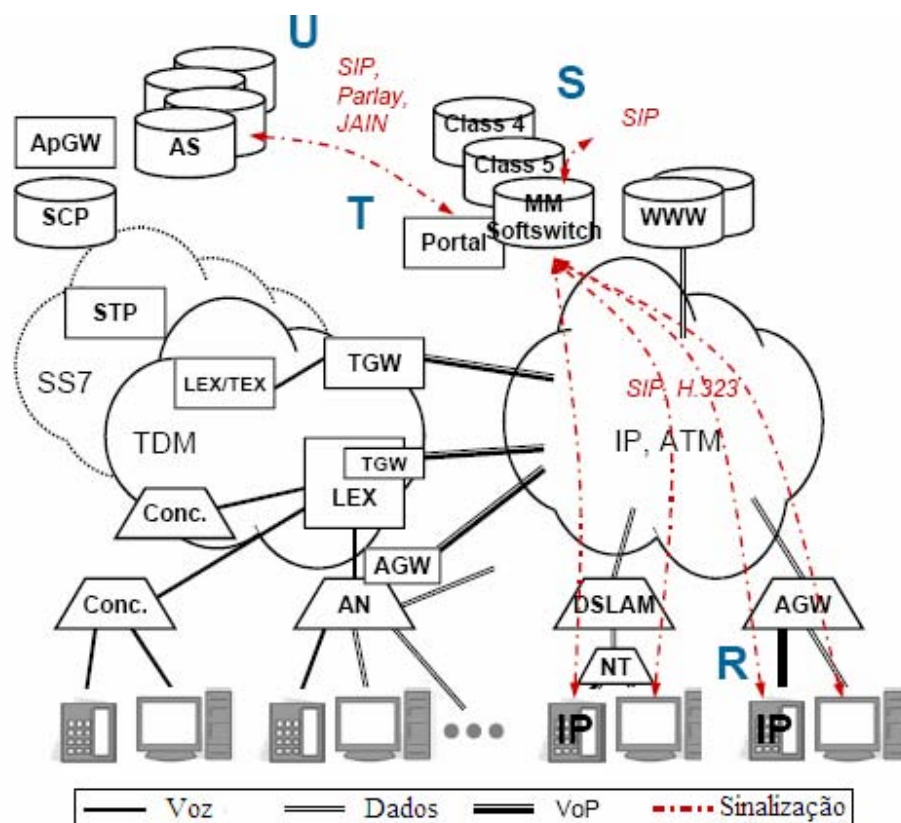


Figura A.9 – Passo 5: Multimídia²

A.3.6.1 Clientes IP [R] com *Softswitch* MM [S]

Um pré-requisito para a implantação de serviços multimídia é a disponibilidade geral de terminais apropriados. Os computadores pessoais são um bom ponto para começar, mas espera-se que a convergência da tecnologia do computador, eletrônica de consumo e comunicações resulte em um número de novos dispositivos multimídia.

Estes novos terminais se comunicam com o *softswitch* através dos protocolos de sinalização multimídia tais como H.323 e SIP.

A fim de suportar inteiramente a nova rede e as capacidades dos terminais o *Softswitch* é estendido com sessão de meios-mistos e controle de QoS.

A.3.6.2 Portal de Varejo e Interfaces Abertas[T]

Com a introdução de novos modelos de negócio e novos atores (por exemplo, Operadoras de Redes Virtuais, provedores de aplicação de terceiros, provedores de conteúdo) há uma necessidade para o acesso a aplicação (para autenticação, autorização, contabilidade, *roaming*, perfis dos assinantes, etc) e plataformas negociadoras do serviço (negociação das capacidades dos terminais, negociação da largura de faixa, agregação de conteúdo, etc).

Tais portais não somente proveêm a operadora de rede com novas oportunidades de negócio como um serviço de varejo, mas também para separar claramente o controle da rede das funcionalidades dos serviços.

Em uma arquitetura NGN (totalmente desenvolvida) as aplicações e a rede se conectam através dos protocolos padronizados (por exemplo, SIP) e APIs (por exemplo, JAIN, OSA/Parlay).

A.3.6.3 Novas Aplicações [U]

Do ponto de vista das aplicações (portanto, receita) a Voz sobre Pacote “pura” não é considerada como um diferenciador. Supõe-se mesmo que os serviços da voz oferecidos em redes VoP têm poucas características do que nas redes do circuito (especialmente em um ambiente H.323).

Conseqüentemente a evolução do portfolio das aplicações para os dados e multimídia é considerada um pré-requisito absoluto para os provedores de serviço de telecomunicação para diferenciar, crescer e gerar novas receitas. Exemplos típicos de aplicações multimídia incluem:

Chamadas/conferências com meios-mistos (áudio, vídeo e dados convergentes em uma mesma rede IP);

Fluxo de dados em tempo real;

Serviços de Mensagem Instantânea, Presença e Localização.

A implantação maciça de novas aplicações é permitida pela disponibilidade de servidores de aplicação e terminais com as ferramentas amigáveis para criação de serviço.

A.3.7 Migração para totalmente NGN

Como passo final de migração para totalmente NGN o equipamento legado PSTN restante é transformado ou substituído por componentes de rede com conformidade NGN. O objetivo desta transformação final (embora opcional) é capitalizar no CAPEX existente (por exemplo, concentradores do acesso conectados às centrais locais) e maior redução no OPEX (rede somente de pacote para o transporte e a sinalização).

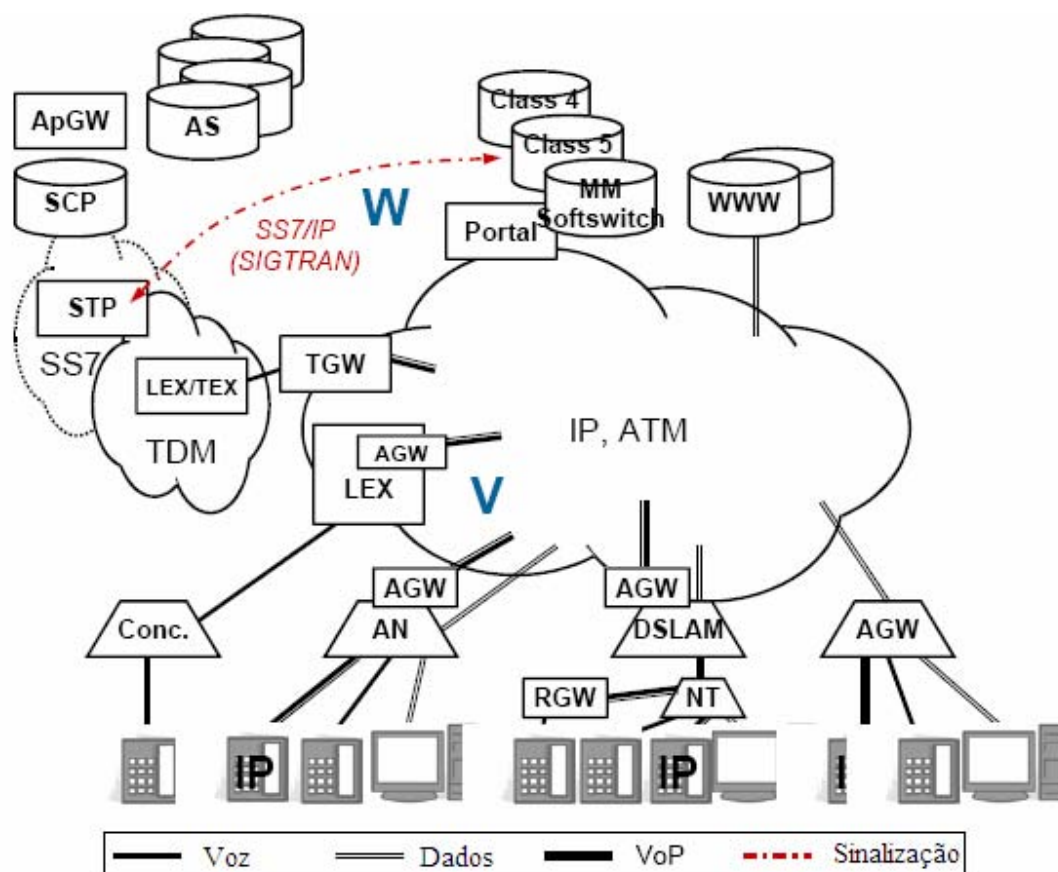


Figura A.10 – Passo 6: Totalmente NGN²

A.3.7.1 Substituição do Equipamento Legado [V]

Ao final da vida útil as centrais e os nós do acesso TDM restantes são gradativamente transformados ou substituídos por *Trunking Gateways*, *Gateways de Acesso* e *Softswitches* como tratado anteriormente.

A.3.7.2 Migração para Sinalização Totalmente IP [W]

Enquanto mantem as camadas superiores (SCCP, ISUP, TCAP, INAP) intactas, as camadas mais baixas da rede de sinalização SS7 são substituídas por uma equivalente baseada em pacote como definido pelos grupos de trabalho SIGTRAN do IETF.

A.3.8 Estratégia de Migração Alternativa

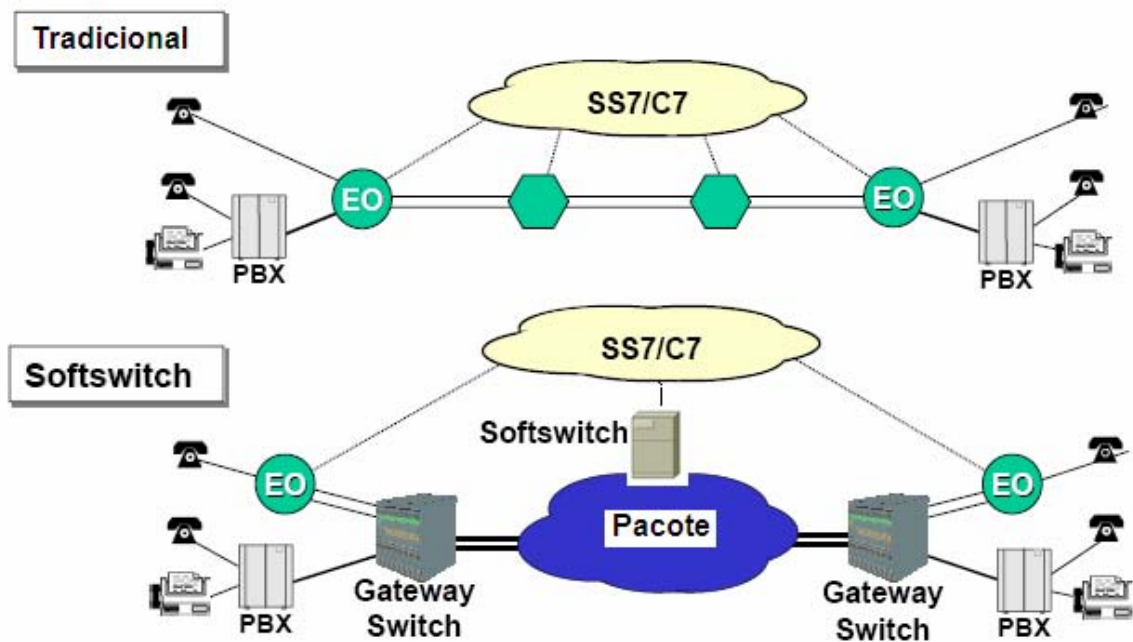
Uma estratégia mais simplificada de migração baseada na arquitetura do *Softswitch Consortia* consiste em uma abordagem em dois passos onde:

Passo 1 - introduz o equipamento telefone IP para o entroncamento e o acesso;

Passo 2 - introduz as novas capacidades e aplicações baseadas no Protocolo Internet e no *host* de interfaces abertas, padronizadas e linguagens de *software* disponíveis para tal.

Esta estratégia em duas etapas é ilustrada a seguir para o entroncamento e o acesso.

Aplicação Entroncamento



Aplicação Acesso

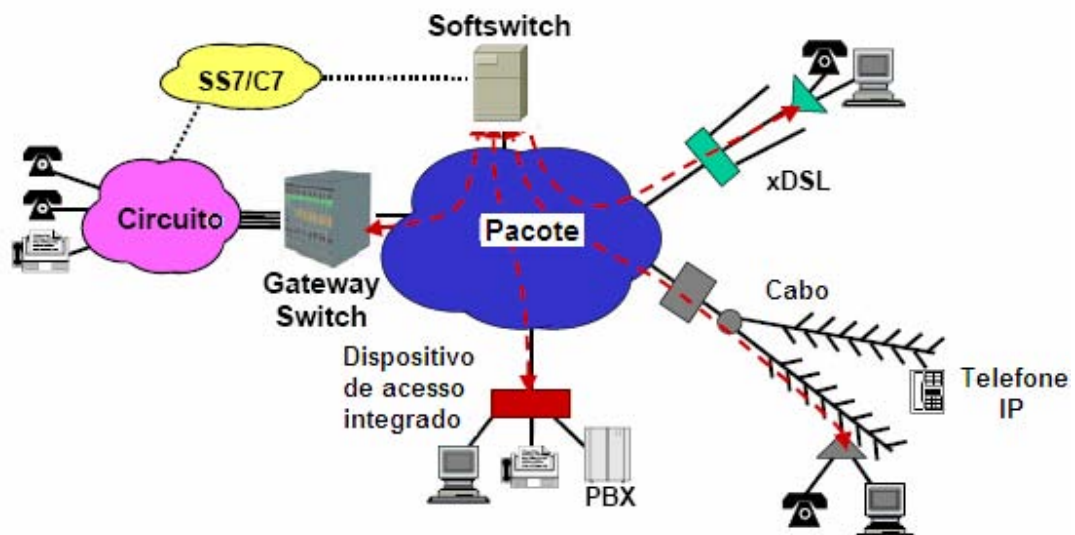


Figura A.11 – Migração alternativa²

A.4 Principais Recomendações em NGN do ITU-T

As principais recomendações em NGN foram obtidas como resultado dos trabalhos no Grupo de Trabalho 2 (Arquiteturas e Princípios de Interconexão)³ do Grupo de Estudo 13 (Redes baseadas em IP e Multiprotocolo e suas interconexões)⁴ do ITU-T no período de estudo 2001 a 2004.

As recomendações abordam: visão geral das funções e características em NGN⁵, modelo de referência geral para NGN⁶, requisitos funcionais e arquitetura para NGN⁷, migração das redes para NGN⁸, estrutura para redes IP gerenciáveis⁹ e guia para a migração suave das redes comutadas para as redes comutadas de pacotes¹⁰.

Para o período de estudo 2005 a 2008 é dada ênfase na continuidade dos trabalhos em NGN.

Referências Bibliográficas

-
- ¹ Tasos Dagiuklas, "VoIP Technologies and Services", Next Generation Networks Initiative, New Service Group, 2001.
 - ² "IP Telephony", Report by the Group of Experts on Internet Protocol (IP) Telephony / ITU-D, WTDC-02, 8 March 2002, www.itu.int/ITU-D/e-strategy/internet/iptelephony/Seminars/3rdEGM/docs/FullReport_IP_Tel-WTDC-02.pdf
 - ³ WP 2/13 – Architectures and internetworking principles, <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/structure.html>.
 - ⁴ SG 13 – Multi-protocol and IP-based networks and their internetworking, <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com13/index.asp>.
 - ⁵ ITU-T Rec. Y.2001: General overview of NGN, 2004.
 - ⁶ ITU-T Rec. Y.2011: General principles and general Reference Model for Next Generation Networks, 2004.
 - ⁷ ITU-T Draft Rec. Y.NGN-FRA: Functional requirements and architecture of the NGN, April 2004.
 - ⁸ ITU-T Draft Rec. Y.NGN-MIG: Migration of networks (including TDM Networks) to NGN, April 2004.
 - ⁹ ITU-T Draft Rec. Y.NGN-MAN: Framework for Manageable IP Network, April 2004.
 - ¹⁰ ITU-T Guidelines for the Smooth Migration from Switched Networks to Packet-Switched Networks, May 2004.