

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DO IMPACTO DA MIGRAÇÃO EM LARGA
ESCALA DOS SERVIÇOS DE VOZ DA RTPC PARA A
REDE IP DE UM PROVEDOR DE SERVIÇO**

LORIZA PEREIRA DE ANDRADE

ORIENTADOR: ANDERSON C. A. NASCIMENTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

PUBLICAÇÃO: PPGENE_DM-0xx/08

BRASÍLIA/DF : 06/2008

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ANÁLISE DO IMPACTO DA MIGRAÇÃO EM LARGA
ESCALA DOS SERVIÇOS DE VOZ DA RTPC PARA A
REDE IP DE UM PROVEDOR DE SERVIÇO**

LORIZA PEREIRA DE ANDRADE

**DISSERTAÇÃO DE Mestrado Profissionalizante
Submetida ao Departamento de Engenharia Elétrica
da Faculdade de Tecnologia da Universidade de
Brasília, como parte dos requisitos necessários para
a obtenção do grau de Mestre.**

APROVADA POR:

**PROF. ANDERSON C. A. NASCIMENTO, DR. (ENE-UNB)
(Orientador)**

**PROF. RAFAEL TIMÓTEO DE SOUSA JR., DR. (ENE/UNB)
(Examinador Interno)**

**PROF. JACIR LUIZ BORDIM, DR. (CIC/UNB)
(Examinador Externo)**

BRASÍLIA, 02 DE JUNHO DE 2008

FICHA CATALOGRÁFICA

ANDRADE, LORIZA

Análise do Impacto da Migração em Larga Escala dos Serviços de Voz da RTPC para a Rede IP de um Provedor de Serviço [Distrito Federal] 2008

xvi, 185p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2008).

Dissertação de Mestrado Profissionalizante – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Voz sobre IP

2. Qualidade de Serviço

3. Simulação de Rede

4. Migração RTPC

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANDRADE, L. (2008). Análise do Impacto da Migração em Larga Escala dos Serviços de Voz da RTPC para a Rede IP de um Provedor de Serviço, Publicação PPGENE.DM-xxxA/08, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 185p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTORA: Loriza Pereira de Andrade

TÍTULO: Análise do Impacto da Migração em Larga Escala dos Serviços de Voz da RTPC para a Rede IP de um Provedor de Serviço.

GRAU: Mestre

ANO: 2008.

É concedida à Universidade de Brasília, permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Loriza Pereira de Andrade
SHIN QI 05 conjunto 01 casa 08
71505-710, Lago Norte, Brasília, DF

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu marido Cristiano que sempre me apoiou e abriu mão de horas de atenção. Dedico também aos meus queridos pais Ronaldo e Edméia pelo carinho, atenção e pelos ensinamentos de vida, sem os quais este trabalho jamais existiria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por estar comigo em mais esta etapa e por me dar condições de estudar e realizar este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Dr. Anderson C. A. Nascimento pela atenção, paciência e liberdade permitida na elaboração deste trabalho.

Agradeço ao meu co-orientador, colega de profissão e de empresa, Marcelo Blanes, pela paciência e atenção e à minha amiga Fernanda pelos empurrões nas horas certas. Ao meu marido Cristiano por toda e indispensável compreensão, aos meus pais Ronaldo e Edméia pela co-orientação informal e imprescindível e aos meus irmãos Priscila e Leandro pelos constantes incentivos.

Agradeço ainda à UnB pelos conhecimentos ministrados que abriram novos horizontes na busca de ferramentas para administrar adequadamente uma rede altamente complexa.

RESUMO

ANÁLISE DO IMPACTO DA MIGRAÇÃO EM LARGA ESCALA DOS SERVIÇOS DE VOZ DA RTPC PARA A REDE IP DE UM PROVEDOR DE SERVIÇO.

Autora: Loriza Pereira de Andrade

Orientador: Anderson C. A. Nascimento

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Brasília, junho de 2008.

A tecnologia *Voice over IP* (VoIP) permite a transmissão de pacotes de voz em uma rede IP. Uma rede convergente para voz e dados resulta em redução de custos e de redes a serem gerenciadas. Entretanto, a adição de protocolos VoIP aumenta a complexidade da configuração e do gerenciamento dos dispositivos. Voz utiliza mais recursos de rede, impactando o tráfego de dados. Adicionalmente, voz exige um alto nível de performance que está diretamente relacionada com a satisfação do usuário final. Uma rede convergente ideal deve atender as necessidades do tráfego de voz com o mínimo impacto no tráfego restante. Este trabalho fornece um estudo, através de simulações realizadas com o software da OPNET, sobre o impacto da migração do tráfego de voz da RTPC para a rede IP de um provedor de serviço de telecomunicações, utilizando dados reais obtidos por meio das redes em produção. Sugere ainda a configuração de políticas de qualidade de serviço para ajudar a manter um nível de satisfação semelhante ao obtido pela RTPC.

ABSTRACT

IMPACT ANALYSIS OF A LARGE SCALE MIGRATION OF PSTN VOICE SERVICES TO A TELECOMMUNICATIONS SERVICE PROVIDER IP NETWORK.

Author: Loriza Pereira de Andrade

Supervisor: Anderson C. A. Nascimento

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Brasília, junho de 2008.

Voice over IP (VoIP) technology allows transmission of voice packets on an IP network. A converged network for voice and data results in cost savings as well as fewer networks to manage. However, the addition of VoIP protocols increases the complexity of device configuration and management. Voice takes up network resources and impacts data traffic. Additionally, voice has stringent end-to-end performance requirements that translate directly to end-user satisfaction. An ideal network design should meet the voice performance requirements with minimal impact on the remaining traffic. This paper provides guidance, based on simulations performed by OPNET software using real data imported from production networks, on how you can audit VoIP configurations and conduct a voice readiness assessment. Based on the simulations conducted, this paper also suggests quality of service policies in order to help maintain a satisfaction level similar to the level obtained by the PSTN.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
SUMÁRIO.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	4
1.2. OBJETIVO	5
1.3. METODOLOGIA.....	6
1.4. ESTUDOS RELACIONADOS EXISTENTES NA LITERATURA	7
1.5. LIMITAÇÕES	8
1.6. ESTRUTURA.....	9
2 REDES DE COMUNICAÇÃO E DE COMPUTADORES.....	10
2.1 INTERNET.....	13
COMPONENTES DA INTERNET	14
SISTEMAS TERMINAIS	14
ROTEADORES.....	15
SERVIÇOS FORNECIDOS PELOS COMPONENTES DA INTERNET.....	15
SERVIÇOS ORIENTADOS A CONEXÃO.....	15
SERVIÇOS NÃO ORIENTADOS A CONEXÃO	16
TRANSPORTE DOS SERVIÇOS OFERECIDOS PELA INTERNET.....	17
COMUTAÇÃO DE PACOTE E COMUTAÇÃO DE CIRCUITO	17
2.2 DESEMPENHO DE REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS.....	18
3 REDES IP MULTISSERVIÇOS.....	20
3.1 ARQUITETURA VOIP	21
3.2 DIGITALIZAÇÃO DA VOZ.....	22
3.3 PROTOCOLOS VOIP.....	25
REAL TIME PROTOCOL (RTP).....	25
PROTOCOLO DE CONTROLE RTP (RTCP)	26
SESSION INITIATION PROTOCOL (SIP).....	26
3.4 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA VOZ EM REDES IP	27
JITTER	28
ATRASSO	28
ECO	35
DISPONIBILIDADE DE LARGURA DE BANDA	36
PERDA DE PACOTES DE VOZ	36
3.5 MÉTRICAS DE QUALIDADE DE VOZ	36
MOS (MEAN OPINION SCORE).....	37
MODELO E.....	38
4 QUALIDADE DE SERVIÇO (QOS).....	40
4.1 ARQUITETURA DE QOS	41
4.1.1 ARQUITETURA DIFFSERV.....	41
CONJUNTO DE BLOCOS DA ARQUITETURA DIFFSERV.....	42
CONSIDERAÇÕES SOBRE A IMPLEMENTAÇÃO DE BACKBONES DIFFSERV.....	46
4.1.2 ARQUITETURA INTSERV (INTEGRATED SERVICES).....	47

4.2	EFEITOS DE QOS NAS CARACTERÍSTICAS DE TRÁFEGO.....	48
	LARGURA DE BANDA	48
	ATRASSO	48
	JITTER	50
	PERDA DE PACOTES	50
4.3	GERENCIAMENTO DOS DIVERSOS TIPOS DE TRÁFEGO EM REDES IP	
	51	
	GERENCIAMENTO DE LARGURA DE BANDA E FILAS	52
5	SOFTWARE SP GURU NETWORK PLANNER	54
5.1	FERRAMENTA VOIP READINESS ASSESSMENT	54
5.2	FERRAMENTA FLOW ANALYSIS	58
	CONFIGURAÇÃO DO BALANCEAMENTO DA CARGA NA REDE IP	59
5.3	FERRAMENTA DESIGN ACTION	65
	IP_QOS_CONFIGURATION_VOIP	65
	IP_QOS_QUEUE_SIZING_VOIP	67
6	ANÁLISE DO IMPACTO DA MIGRAÇÃO EM LARGA ESCALA DOS	
	SERVIÇOS DE VOZ DA RTPC PARA A REDE IP DE UM PROVEDOR DE	
	SERVIÇO	71
6.1	DEFINIÇÃO DAS MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VOZ	
	NA REDE IP	72
6.2	COLETA DE DADOS PARA ESTABELEECER OS CENÁRIOS	
	NECESSÁRIOS PARA MEDIÇÃO DAS MÉTRICAS DEFINIDAS.....	75
6.2.1	IMPORTAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DOS ROTEADORES DA REDE IP	
	EXISTENTE PARA O SOFTWARE SP GURU.....	76
6.2.2	IMPORTAÇÃO DA ATUAL UTILIZAÇÃO DOS ENLACES ENTRE OS	
	ROTEADORES PARA O SOFTWARE SP GURU NETWORK PLANNER	79
6.2.3	IMPORTAÇÃO DO ATRASO DE PROPAGAÇÃO FIM – A - FIM (IDA E	
	VOLTA)	81
6.2.4	IMPORTAÇÃO DO TRÁFEGO DE VOZ PROVENIENTE DA REDE RTPC	
	ESCOLHA DO CODEC, DA MARCAÇÃO DE PACOTES E DO CONJUNTO DE	
	PROTOCOLOS DE CABEÇALHO	84
6.3	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	85
6.3.1	VALIDAÇÃO DA REDE IP NO SOFTWARE SP GURU NETWORK	
	PLANNER.....	86
6.3.2	UTILIZAÇÃO DOS ENLACES SEM O TRÁFEGO DE VOZ DA REDE RTPC	
	88	
6.3.3	UTILIZAÇÃO DOS ENLACES COM O TRÁFEGO DE VOZ DA REDE RTPC	
	90	
6.3.4	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CHAMADAS DE VOZ NA ATUAL	
	REDE IP DO PROVEDOR DE SERVIÇO DE TELECOMUNICAÇÕES COM O	
	TRÁFEGO SE DADOS E O TRÁFEGO DE VOZ PROVENIENTE DA REDE RTPC,	
	SEM A CONFIGURAÇÃO DE QOS	106
6.3.5	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CHAMADAS DE VOZ NA ATUAL	
	REDE IP DO PROVEDOR DE SERVIÇO DE TELECOMUNICAÇÕES COM O	
	TRÁFEGO DE DADOS, O TRÁFEGO DE VOZ PROVENIENTE DA REDE RTPC E	
	COM A CONFIGURAÇÃO DE QOS	125
6.3.6	AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE CHAMADAS DE VOZ NA ATUAL	
	REDE IP DO PROVEDOR DE SERVIÇO DE TELECOMUNICAÇÕES COM O	
	TRÁFEGO DE DADOS E O TRÁFEGO DE VOZ PROVENIENTE DA REDE RTPC,	
	COM A CONFIGURAÇÃO DE QOS	137

6.3.7 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE PACOTES COM DIFERENTES NÚMEROS DE AMOSTRAS DE VOZ	151
7 CONCLUSÕES.....	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
APÊNDICE	164
A - ATRASO DE PROPAGAÇÃO	165

LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1 Descrição Componentes Arquitetura VoIP	22
Tabela 3-2 Principais CODECs X banda utilizada.....	24
Tabela 3-3 Campos de cabeçalho do RTP.....	25
Tabela 3-4 Campos do cabeçalho RTP	25
Tabela 3-5 Principais CODECs e suas características.....	37
Tabela 4-1: DSCPs	43
Tabela 4-2: PHB AF.....	46
Tabela 4-3: Blocos Funcionais da Arquitetura DiffServ	46
Tabela 4-4: Ferramenta de QoS aplicadas em questões relacionadas a largura de banda... 48	
Tabela 4-5: Ferramentas de QoS que amenizam os efeitos do atraso e do jitter.....	50
Tabela 5-1: Opções VoIP	57
Tabela 5-2: Configuração da ferramenta <i>Flow Analysis</i>	59
Tabela 5-3: Valores de variação do atraso (jitter) (%) – rede IP sem QoS	66
Tabela 5-4: Características do atributo <i>Target Queue ConFfiguration</i>	67
Tabela 6-1: Comandos dos roteadores utilizados.....	77
Tabela 6-2: Dados de utilização de enlaces coletados via Cacti	79
Tabela 6-3: Tamanho médio dos pacotes	80
Tabela 6-4: Descrição fluxo de obtenção SAT.....	82
Tabela 6-5: Informações contidas no arquivo coletado na ferramenta SATWEB	82
Tabela 6-6: Formato do arquivo a ser importado para o SP Guru com informações sobre os fluxos de voz.....	83
Tabela 6-7: Relação Central Telefônica X Roteadores de distribuição/acesso.....	83
Tabela 6-8: Atributos de cada CODEC no software SP GURU – 1 amostra de voz/pacote85	
Tabela 6-9: Banda consumida por pacote de voz (com 1 amostra de voz).....	85
Tabela 6-10: Comparação da Tabela de roteamento - ferramenta <i>Flow Analysis</i> do software SP GURU x rede operacional.....	86
Tabela 6-11: Importação da utilização dos enlaces da rede IP.....	88
Tabela 6-12: Tráfego de voz importado para o software SP GURU Network Planner.....	90
Tabela 6-13: Enlaces da rede IP	93
Tabela 6-14: Percentual de Enlaces com utilização acima de 50%.....	96
Tabela 6-15: Fluxos de voz enlace CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0 e CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0.....	98
Tabela 6-16: Fluxos de voz enlace CTAJE-CORE01 GigabitEthernet2/0/2 → FNSES-CORE01 GigabitEthernet 7/3/0 e CTAJE-CORE01 GigabitEthernet 5/0/3 → FNSES-CORE01 GigabitEthernet 3/0/1	99
Tabela 6-17: Taxa de Utilização dos Enlaces da rede IP	101
Tabela 6-18 - Comparação utilização de enlace.....	105
Tabela 6-19 - Fator de escala CODECs.....	105
Tabela 6-20: Resultadas métricas de GQM para o objetivo 1	107
Tabela 6-21: Fluxos de voz importados	112
Tabela 6-22: Piores valores de MOS, atraso, variação do atraso, perda – sem QoS.....	118
Tabela 6-23: Atraso fim-a-fim – rede IP sem QoS.....	120
Tabela 6-24: Valores de variação do atraso (jitter) (%) – rede IP sem QoS	122
Tabela 6-25: Resultado das métricas de GQM para objetivo 2.....	126
Tabela 6-26: Valores de MOS G.711 – rede IP com QoS.....	131
Tabela 6-27: Valores de MOS G.729A – rede IP com QoS.....	131
Tabela 6-28: Atraso fim-a-fim G.711 – comparação rede IP com e sem QoS.....	134
Tabela 6-29: Atraso fim-a-fim G.729A – comparação rede IP com e sem QoS.....	134

Tabela 6-30: Variação do atraso (jitter) G.711 – comparação rede IP com e sem QoS....	135
Tabela 6-31: Variação do atraso (jitter) G.729A – comparação rede IP com e sem QoS.	135
Tabela 6-32: Perda de pacotes G.711 – – comparação rede IP com e sem QoS	136
Tabela 6-33: Revisão políticas de QoS.....	139
Tabela 6-34: Resultado das métricas de GQM para objetivo 3	142
Tabela 6-35: MOS G.711 – rede IP com QoS revisado	144
Tabela 6-36: MOS G.729A – rede IP com QoS revisado	144
Tabela 6-37: Atraso fim-a-fim G.711 – rede IP com QoS revisado.....	147
Tabela 6-38: Atraso fim-a-fim G.729A – rede IP com QoS revisado.....	147
Tabela 6-39: Variação do atraso (jitter) G.711 – rede IP com QoS revisado.....	148
Tabela 6-40: Variação do atraso (<i>jitter</i>) G.729A – rede IP com QoS revisado.....	149
Tabela 6-41: Atributos de cada CODEC no software SP GURU – 2 amostras de voz/pacote	152
Tabela 6-42: Banda consumida por pacote de voz (com 2 amostras de voz).....	152
Tabela 6-43: Comparação tráfego existente no backbone IP	152
Tabela 6-44: Comparação tráfego existente no <i>backbone</i> IP	153
Tabela 7-1 - Problemas detectados no software da OPNET	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Rede com quatro camadas	11
Figura 2-2 - camadas e protocolos do modelo TCP/IP	12
Figura 3-1 Arquitetura Funcional de VoIP	21
Figura 3-2 Cabeçalhos presentes em um pacote IP	24
Figura 3-3 Buffer <i>de-Jitter</i> Cheio - Atraso Devido à Primeira Divulgação	33
Figura 3-4 Buffer <i>de-jitter</i> , após atraso devido à primeira divulgação	34
Figura 3-5 Funcionamento Buffer <i>De-jitter</i>	35
Figura 3-6: Relação MOS e classificação R do modelo E	39
Figura 4-1: Bytes ToS	42
Figura 4-2: Bytes DS	42
Figura 4-3: Modelo generalizado da operação de QoS	43
Figura 5-1: VoIP Readiness Assessment	55
Figura 5-2: Importação do fluxo de voz	56
Figura 5-3: Opções para importar o fluxo de voz	56
Figura 5-4: Opções de CODECs disponíveis	57
Figura 5-5: Opções de protocolo de cabeçalho	57
Figura 5-6: Rede utilizando protocolo OSPF e balanceamento de carga por destino	61
Figura 5-7: Encaminhamento dos Fluxos	62
Figura 5-8: Balanceamento de carga sem reconhecimento da agregação dos fluxos	63
Figura 5-9: Fluxos de voz	64
Figura 6-1: Rede IP importada para o software SP Guru	76
Figura 6-2: SAT - Sistema de Administração de Tráfego	82
Figura 6-3: Utilização dos enlaces da rede IP sem fluxos de voz	89
Figura 6-4: Utilização média dos enlaces da rede IP com fluxos de voz utilizando CODEC G.711	91
Figura 6-5: Utilização média dos enlaces da rede IP com fluxos de voz utilizando CODEC G.729A	92
Figura 6-6: Utilização dos enlaces da rede IP com fluxos de voz – sentido ida	97
Figura 6-7: Utilização dos enlaces da rede IP com fluxos de voz – sentido volta	97
Figura 6-8: Valores MOS – sem aplicação de política de QoS	119
Figura 6-9: Valores atraso fim-a-fim – sem aplicação de política de QoS	121
Figura 6-10: Valores (variação atraso) <i>jitter</i> – sem aplicação de política de QoS	124
Figura 6-11 - MOS – com aplicação de política de QoS	130
Figura 6-12: Atraso fim-a-fim – com aplicação de política de QoS	133
Figura 6-13: Variação do atraso (<i>jitter</i>) – com aplicação de política de QoS	133
Figura 6-14 - Gráfico MOS após revisão configuração QoS	146
Figura 6-15 - Gráfico atraso fim-a-fim após revisão configuração QoS	146
Figura 6-16 - Gráfico da variação do atraso após revisão da configuração de QoS	150

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ADPCM	<i>Adaptive Differential Pulse Code Modification</i>
AF	<i>Assured Forwarding</i>
ASIC	<i>Application Specific Integrated Circuit</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
BE	<i>Best Effort</i>
BHT	<i>Busy Hour Time</i>
CAC	<i>Call Admission Control</i>
CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CBWFQ	<i>Class Based Weighted Fair Queuing</i>
CELP	<i>Code Excited Linear Prediction</i>
CODEC	<i>Coder/Decoder</i>
DiffServ	<i>Differentiated Services</i>
DRR	<i>Deficit Round Robin</i>
DSCP	<i>DiffServ Code Point</i>
EF	<i>Expedited Forwarding</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FCS	<i>Frame Check Sequence</i>
FIFO	<i>First-In-First-Out</i>
FQ	<i>Fair Queuing</i>
FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
GOS	<i>Grade of Service</i>
GQM	<i>Goal Question Metric</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IntServ	<i>Integrated Services</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDN	<i>Integrated Service Digital Network</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union Standardization Sector</i>

LAN	<i>Local Area Network</i>
LFI	<i>Link Fragmentation and Interleaving</i>
LLQ	<i>Low Latency Queueing</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i>
MP-MLQ	<i>Multi Pulse Multi Level Quantization</i>
NGN	<i>Next Generation Networks</i>
NMS/OSS:	<i>Network Management Systems/Operational Support Systems</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
OSI	<i>Open System Interconnect</i>
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>
PCM	<i>Pulse Code Modulation</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PHB	<i>Per Hop Behaviour</i>
PIE	<i>Pakistan Internet Exchange</i>
PQ	<i>Strict Priority Queueing</i>
PSTN	<i>Public Switching Telephony Network</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RDSI	<i>Rede Digital de Serviços Integrados</i>
RED	<i>Random Early Detection</i>
RSVP	<i>Resource Reservation Protocol</i>
RTPC	<i>Rede Telefônica Pública Comutada</i>
SIP	<i>Session Initiation Protocol</i>
SLA	<i>Service Level Agreements</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SP	<i>Service Provider</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
ToS	<i>Type of Service</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
VAD	<i>Voice Activity Detection</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
WAN	<i>Wide Area Networks</i>

WFQ	<i>Weighted Fair Queuing</i>
WRR	<i>Weighted Round Robin</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>
xDSL	<i>Digital Subscriber Line</i>

1 INTRODUÇÃO

Até recentemente cada novo tipo de serviço de telecomunicações requeria o desenvolvimento de uma nova tecnologia de rede dedicada para suportá-lo. Como exemplo tem-se o serviço telefônico (voz) e a RTPC ou *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, entre outros. Entretanto, a desvantagem do desenvolvimento de uma nova tecnologia de rede para cada novo serviço de telecomunicações fica evidenciada pela necessidade de instalação e manutenção de duas redes quando mais de um serviço, como voz e dados, são demandados em determinado ambiente.

A valorização da transmissão de voz e dados em uma única rede não é recente e o desenvolvimento da rede telefônica tradicional, comutada por circuitos, serviu de base para a prestação dos primeiros serviços de maneira convergente. Na década de 80, as redes de telefonia deixaram de exercer exclusivamente sua função tradicional de transmissão de voz por sinais analógicos para incorporar também a possibilidade de transmissão de dados digitais, através da tecnologia Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI) ou *Integrated Service Digital Network* (ISDN), inicialmente implantada na Europa e uma das pioneiras na utilização da tecnologia *Digital Subscriber Line* (xDSL). A tecnologia RDSI é um exemplo de convergência tecnológica que, de maneira geral, designa a tendência de utilização de uma única infra-estrutura de tecnologia para prover serviços que, anteriormente, requeriam equipamentos, canais de comunicação, protocolos e padrões independentes.

Com o advento das redes de computadores interligadas pelo protocolo *Internet Protocol* (IP) e conseqüentemente da Internet, tornou-se evidente que tais redes seriam a base para a conglomeração das demais redes. Ou seja, redes IP teriam que ser adaptadas para suportar todos os tipos de tráfego existentes, como voz, vídeo e dados, e para oferecer serviços com qualidade semelhante à oferecida nas redes de origem de tais tráfegos.

Foi nesse cenário que surgiu Voz sobre IP ou *Voice over IP* (VoIP), a transmissão de voz sobre redes que usam o protocolo IP. Com VoIP iniciou-se a integração dos serviços convencionais de telefonia com o crescente número de aplicações IP.

Inicialmente, VoIP tornou-se comercialmente importante para sistemas de voz corporativos (HUNT; ARDEN, 2005). As companhias alugavam circuitos privados de dados para criar redes entre seus escritórios. VoIP permitiu que as redes IP *Wide Area Networks* (WAN) fossem utilizadas para cortar custos com chamadas telefônicas.

Em paralelo ao crescimento da utilização de VoIP, no final de década de 90, grande parte das operadoras de telecomunicações já tinham completado a migração das redes de telefonia tradicionais analógicas para redes de voz digitais *Time Division Multiplexing* (TDM) e não estavam mais comprando equipamentos de voz em larga escala. Atualmente, grande parte dos equipamentos instalados nas redes de telefonia TDM estão com mais de 20 anos de uso e alguns fornecedores já declararam datas de término de suporte técnico para algumas centrais telefônicas, tornando a atual planta de telefonia fixa obsoleta. A maioria dos fabricantes tem oferecido somente equipamentos de próxima geração baseados principalmente em VoIP.

Além da questão da obsolescência da rede de telefonia tradicional, a indução para que os provedores de serviço de telecomunicações migrem para redes IP de próxima geração *Next Generation Networks* (NGN) incluem:

- Redução de custos operacionais através da convergência da rede de voz e dados, devido à diminuição do número de redes de voz e dados distintas sem afetar a oferta dos atuais serviços e sem alterar a interface usuário/rede.
- Exploração dos rendimentos de novos serviços que possam ser implantados com a convergência das redes.
- Diminuição do número de assinantes/terminais na RTPC devido às outras opções de comunicação (celulares e telefonia IP).
- Atendimento do desejo dos clientes em acessar seus serviços de qualquer lugar, a qualquer hora.

Apesar da franca expansão de usuários que utilizam VoIP, um dos grandes desafios de implementar VoIP em larga escala é a habilidade em oferecer chamadas telefônicas com

padrão de qualidade semelhante aos das chamadas disponibilizadas pela RTPC. A qualidade de uma ligação telefônica é medida principalmente por uma função de distorção e atraso. Enquanto a RTPC assegura atrasos fixos e mínimas distorções aos serviços, a rede IP não apresenta a mesma eficácia. Redes IP evoluíram oferecendo serviços com características de melhor esforço e tipicamente não garantem critérios com alto nível de qualidade (JOHNSON et al, 2004).

Com a migração dos serviços de voz para redes IP de próxima geração (NGN), será aproveitada a flexibilidade das redes NGN, que advém de sua infra-estrutura de pacote (HUNT; ARDEN, 2005). Voz, *streams* de vídeo, transferência de arquivos, *download* de música, mensagens instantâneas são empacotadas e transportadas uniformemente pela rede IP, que desconhece os serviços transportados por cada pacote. Essa é uma vantagem da rede de dados, mas potencialmente uma desvantagem para serviços com voz, que possuem maiores requerimentos de qualidade de transmissão que a maioria dos serviços de dados.

Em redes IP, a necessidade de suporte para serviços mais sensíveis, como transmissão de voz e vídeo, instigou o desenvolvimento de mecanismos de controle e tecnologias que podem ser utilizadas para garantir Qualidade de Serviço (QoS) semelhante aos oferecidos pelas redes RTPC e ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) (JOHNSON et al, 2004). Em redes de comunicação, QoS descreve uma gama de conceitos e ferramentas que podem ser usadas para definir como um pacote IP será utilizado para disponibilizar um serviço (ODOM; CAVANAUGH, 2005). Portanto, QoS pode ser definido como a habilidade de uma rede em fornecer serviços diferenciados a um conjunto de usuários/aplicações em detrimento de outros usuários/aplicações. Com isso, o objetivo de garantir priorização de fluxos de voz e vídeo em relação a dados de melhor esforço e de proteger os pacotes de voz do congestionamento de tráfego será mantido e a transmissão de voz em larga escala em redes IP se tornará factível.

Neste contexto, esta dissertação visa apresentar um estudo sobre a migração do tráfego de voz da RTPC de um grande provedor de telecomunicações brasileiro para a rede IP da mesma empresa. Entre os diversos resultados obtidos destaca-se:

- Levantamento de dados reais de tráfego da atual rede de telefonia pública comutada e da rede IP em estudo.

- Realização de simulação computacional do desempenho da rede IP em questão em seu estado atual e validação desses resultados com dados experimentais.
- Simulação do impacto da migração dos dados hoje presentes na RTPC para a rede IP através de simulações computacionais. As simulações foram efetuadas para vários cenários, variando os CODECs utilizados e as políticas de QoS.

1.1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A idéia de convergir os serviços de voz e dados e de usar uma única estrutura de rede tem sido reforçada devido ao declínio de voz fixa (RTPC) para reduzir *Capital Expenditure* (CAPEX), verba gasta com investimentos na rede, e *Operational Expenditure* (OPEX), verba gasta com a manutenção da rede. Entretanto, a unificação de diversos serviços de voz e dados em uma única rede é complexa, principalmente quando o número de acessos é muito alto e quando a rede escolhida é uma rede baseada em serviços de melhor esforço, característica da rede IP. Em uma rede IP de melhor esforço todos os pacotes são tratados da mesma maneira. A rede IP entrega todos os pacotes o mais rápido possível, sem nenhuma diferenciação de tratamento quanto aos diversos tipos de pacotes. Um serviço de voz requer restrições especiais de modo a ser obtida uma comunicação que satisfaça as exigências de qualidade de serviço dos interlocutores.

O problema em estudo envolve, portanto, como garantir uma qualidade de serviço satisfatória para as chamadas de voz que serão migradas, em larga escala, da RTPC para a rede IP do provedor de serviço de telecomunicações brasileiro, foco desse trabalho.

A garantia de qualidade de serviço aceitável para as chamadas de voz que trafegam em uma rede IP é uma tarefa complexa. Além de ser uma rede de melhor esforço, a largura de banda disponível para transportar os pacotes, tanto de dados como voz, em determinados horários de pico, pode não ser suficiente.

Esta preocupação com a disponibilidade de largura de banda foi citada no artigo publicado pelos autores (MEHMOOD et al, 2005). Eles avaliaram a qualidade/quantidade das chamadas de voz no *backbone* IP do *Pakistan Internet Exchange* (PIE). Foi constatado que voz está rapidamente tornando-se um dos principais componentes do tráfego do *backbone*

IP PIE e que esta razoavelmente bem provisionada rede não alcança uma qualidade de serviço satisfatória para as chamadas de voz devido a gargalos de tráfego nas redes de acesso.

Outro fator que torna a garantia de qualidade de serviço satisfatória para as chamadas de voz que trafegam em uma rede IP uma tarefa complexa, abordada por JOHNSON et al, (2004), é a redundância do hardware e do software de um *backbone* IP de um provedor de serviço de telecomunicações. Para manter uma disponibilidade de serviço de voz semelhante à ofertada pela RTPC, redes IP precisam apresentar uma confiabilidade que pode ser mensurada pelo número de minutos, que neste caso são 5, que a rede fica fora de operação.

1.2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é analisar, por meio de simulações computacionais, o impacto da migração dos serviços de voz, oferecidos atualmente na RTPC de um provedor de serviço de telecomunicações brasileiro para seu *backbone* IP. Também é objetivo do trabalho verificar se será necessário implantar políticas de qualidade de serviço para que a qualidade das chamadas de voz na rede IP seja semelhante à qualidade das chamadas de voz na RTPC.

Para realizar essa análise foram definidos os seguintes objetivos específicos.

- i. Simular a migração do tráfego de voz existente na RTPC para o *backbone* IP e analisar se os valores de utilização de largura de banda, perda de pacote, atraso fim-a-fim e *jitter* (variação do atraso) atendem aos valores estipulados para a transmissão de voz com qualidade semelhante a da RTPC;
- ii. Definir uma Política de QoS no *backbone* da rede IP de um provedor de serviço de telecomunicações de modo a otimizar o uso de recursos da rede e obter uma qualidade de voz satisfatória;
- iii. Identificar a necessidade de modificações na infra-estrutura IP/NGN (capacidade dos enlaces) de modo a efetivar uma transferência em larga escala dos serviços da RTPC.

1.3. METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se quanto à forma de abordagem do problema como uma pesquisa qualitativa e aplicada.

Quanto aos fins, esta pesquisa é descritiva porque visa conhecer, analisar e interpretar as informações de QoS coletadas através da simulação. E quanto aos meios, caracteriza-se como investigação bibliográfica e de campo.

Para a realização desta dissertação, foi feito um estudo bibliográfico na literatura para obter entendimentos teóricos necessários sobre rede IP, VoIP e QoS. A partir deste estudo, identificou-se e definiu-se as métricas para avaliar a qualidade da voz importada da RTPC para a atual rede IP, ambas de um mesmo provedor de serviço de telecomunicações brasileiro, que possui uma das maiores bases de acessos banda larga da América Latina (1,3 milhão de acessos), além de aproximadamente 8,4 milhões de linhas fixas em serviço e operação celular superior a 3,3 milhões de acessos.

Adotou-se ainda o método GQM (*Goal Question Metrics*) para facilitar a definição, coleta dos dados e interpretação dos mesmos. A coleta de dados foi realizada com base em três cenários:

- i. Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações em estudo com tráfego de dados existente nos enlaces entre os roteadores da rede IP e com a adição do tráfego de voz importado da rede RTPC para a rede IP, sem aplicação de configuração de QoS;
- ii. Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações em estudo com tráfego de dados existente nos enlaces entre os roteadores da rede IP e com a adição do tráfego de voz importado da rede RTPC para a rede IP, com aplicação de configuração de QoS;
- iii. Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações em estudo com tráfego de dados existente nos enlaces entre os roteadores da rede IP e com a adição do tráfego de voz importado da rede RTPC para a rede IP, com revisão da configuração de QoS aplicada no cenário ii.

Os dados coletados por meio da pesquisa de campo e por meio dos cenários definidos foram importados para o Software SP (*Service Provider*) *Guru Network Planner*, da OPNET, para a montagem do primeiro cenário estabelecido, definido anteriormente. A simulação do primeiro cenário definido teve como objetivo analisar o desempenho, através da ferramenta *Flow Analysis* do Software SP *Guru Network Planner*, do nível de qualidade oferecido para as chamadas de voz. Como os resultados não foram satisfatórios uma ferramenta do software de simulação SP *Guru Network Planner* denominada *Design Action* foi utilizada para sugerir novas implementações de parâmetros e políticas de QoS, uma proposta de melhoria da rede IP do provedor de serviço de telecomunicações.

O software SP *Guru Network Planner* foi usado como ferramenta de apoio desta pesquisa por ter sido analisado, selecionado e adquirido pela área de Arquitetura e Tecnologia do provedor de serviço de telecomunicações, escopo desta pesquisa. Portanto, não houve opção de seleção de ferramenta de simulação pela autora deste trabalho.

1.4. ESTUDOS RELACIONADOS EXISTENTES NA LITERATURA

Apesar das várias referências presentes na literatura contendo resultados relacionados ao desempenho de redes multimídia (JAMES; CHEN; GARRISON (2004), SUN; IFEACHOR (2006), CARVALHO et.al. (2005)), estudos contendo a simulação de performance de redes multimídia com as dimensões consideradas nesse trabalho não foram encontrados.

Por outro lado, existem artigos relacionados as ferramenta de simulação da OPNET, como o artigo de SALAH e ALKHORAILLY (2006), que apresenta uma abordagem, através de simulações realizadas no software *Modeler*, para implementação de VoIP. Apesar de usar um dos simuladores de rede da OPNET o estudo realizado por SALAH e ALKHORAILLY (2006), utilizou uma típica rede de uma pequena empresa privada, com dois switches conectados a um roteador. O tamanho da rede analisada não é compatível com o tamanho da rede do provedor de serviço de telecomunicações em estudo.

Já o artigo desenvolvido por POTEMANS et al (2002) utiliza o software *Modeler* da OPNET para elaborar um modelo de simulação do *backbone* IP da universidade K.U.Leuven, situada na Bélgica mas não apresenta relação com estudos envolvendo VoIP.

Como o artigo relata que, na época, o *backbone* IP da universidade era composto por cinco switches em uma topologia em anel, não é possível correlacionar de alguma forma os resultados apresentados no artigo com os obtidos nesse estudo, dado que a rede apresentada nesta dissertação possui 33 roteadores e enlaces de até 10Gbps.

O trabalho realizado por CSIK (2002) utiliza o software de simulação de rede OPNET como uma ferramenta de análise para avaliar as questões de desempenho de rede e de qualidade de transmissão baseado nas fontes de tráfego. CSIK (2002) apresenta uma visão geral das fases mais comuns do modelamento de uma fonte de VoIP e uma fonte *HyperText Transfer Protocol* (HTTP) como o tráfego secundário, focando no *backbone* ATM de larga escala e altamente utilizado de um provedor de serviço húngaro, que interconecta os centros regionais do país através de um comutador (*switch*) central em uma topologia estrela. Diante da breve descrição do artigo observa-se que o mesmo também não apresenta semelhança com o estudo realizado nesta dissertação.

É importante ressaltar que o software *Modeler* é focado em pesquisa e desenvolvimento de redes e o *SP GURU Network Planner* no modelamento de redes de camadas e seus componentes, incluindo roteadores, switches, firewalls, protocolos e demandas de tráfego. O *SP GURU Network Planner* viabiliza o gerenciamento inteligente de redes de larga escala *multi-vendor* com o intuito de acelerar implementações de novos serviços, otimizar o retorno de investimentos e reduzir riscos operacionais. Tais diferenças explicam o fato da grande maioria dos artigos publicados serem baseados no *Modeler* e não no *SP GURU Network Planner*.

Diante do exposto, acredita-se que esta pesquisa seja pioneira no estudo da migração de serviços de voz da RTPC para a rede IP de um provedor de serviço de telecomunicações brasileiro.

1.5. LIMITAÇÕES

Esta dissertação limita-se a realizar um estudo para identificar uma maneira de viabilizar a migração, em larga escala, dos serviços da RTPC para a rede IP/NGN de um específico provedor de serviço de telecomunicações. Não sugere, no entanto, uma metodologia para

realizar tal migração, mas sim o que pode ser implementando quanto a políticas de QoS para garantir um serviço com nível de qualidade semelhante ao da RTPC.

Vale ressaltar que como o foco desta dissertação é o tráfego de voz importado da RTPC, o impacto da migração do tráfego de voz no tráfego já existente na rede IP (maioria tráfego de dados) não será avaliado.

1.6. ESTRUTURA

O conteúdo deste trabalho divide-se em sete capítulos e um apêndice, que podem, desta forma, ser resumidos:

- Capítulo 1: Esta introdução ao objeto de pesquisa, contendo a motivação e relevância do problema, a justificativa para o seu desenvolvimento, os objetivos, a metodologia adotada e as limitações envolvidas;
- Capítulo 2: fundamentação teórica sobre redes de comunicação de dados, incluindo as características que podem afetar seu desempenho, e sobre a Internet;
- Capítulo 3: fundamentação teórica sobre redes multisserviços, redes de comunicações de dados que também transportam voz e sobre as características do serviço de Voz sobre IP, VoIP;
- Capítulo 4: fundamentação teórica sobre a oferta de qualidade de serviço (QoS) para pacotes de voz, consideravelmente mais sensíveis que pacotes de dados
- Capítulo 5: apresentação do software de simulação de rede de comunicação de dados utilizado neste trabalho;
- Capítulo 6: descrição dos objetivos e das etapas relevantes para realizar a análise do impacto da migração em larga escala dos serviços de voz da RTPC para a Rede IP de um provedor de serviço e apresentação e análise dos resultados dos cenários simulados.
- Capítulo 7: apresentação das conclusões deste trabalho e sugestões para trabalhos futuros nesta área.

2 REDES DE COMUNICAÇÃO E DE COMPUTADORES

Este capítulo, bem como os capítulos 2, 3 e 4, revisa a bibliografia necessária para entendimento do tema abordado nessa dissertação. Não se busca, nesta revisão, aprofundar o assunto mais do que o necessário ao entendimento da simulação e obtenção de dados para esta.

Este capítulo aborda as principais características (como arquitetura, componentes, serviços) das redes de comunicação de dados e de computadores, essenciais para a implementação de serviços VoIP.

Sendo assim, inicia-se esta revisão pelo significado de rede de comunicação de dados.

Para entender o conceito de redes de computadores é necessário entender primeiramente o significado de rede de comunicação de dados. Comunicação de dados é o movimento da informação computacional que ocorre de um ponto a outro, por meio de sistemas de transmissão elétricos ou óticos (FITZGERALD; DENNIS, 2005). Tais sistemas são freqüentemente chamados de redes de comunicação de dados. A Internet é um exemplo de redes de comunicação de dados que utiliza computadores para movimentar a informação, seja ela dados, vídeo ou voz, de um ponto ao outro.

Por ser um sistema extremamente complexo, a arquitetura de redes de comunicação de dados é dividida em camadas. Cada camada, combinada com camadas abaixo dela, implementa alguma funcionalidade, algum serviço para as camadas superiores. As regras e convenções utilizadas na comunicação entre as camadas de mesmo nível hierárquico são conhecidas como protocolos. Basicamente, um protocolo é um acordo realizado entre as partes envolvidas relatando como a comunicação deve proceder. A Figura 2-1 ilustra uma rede com quatro camadas (TANEMBAUM, 2003).

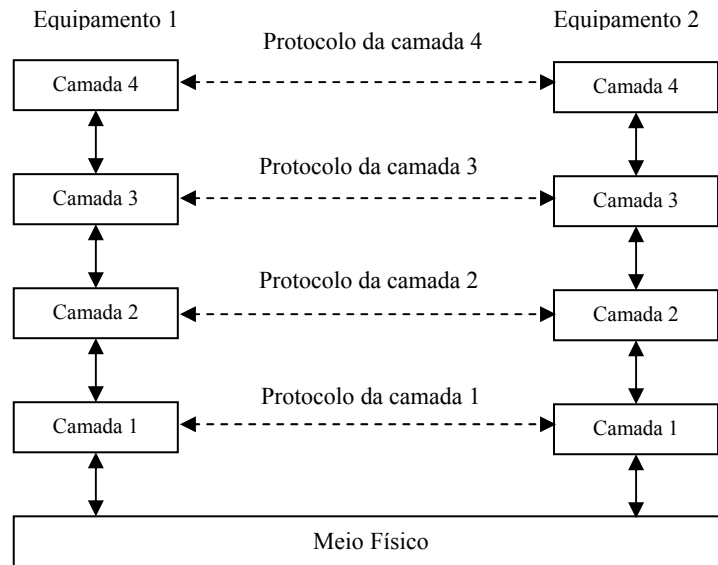


Figura 2-1: Rede com quatro camadas

Fonte: TANEMBAUM (2003)

Na realidade, conforme mostra a Figura 2-1, dados não são transferidos de uma camada n em uma máquina para a mesma camada n em outra máquina. Cada camada passa dados e informação de controle para a camada imediatamente abaixo, até atingir a camada 1. Abaixo da camada 1 está a camada física, através da qual a comunicação efetivamente ocorre. Na Figura 2-1 a comunicação virtual é demonstrada através das linhas tracejadas e a comunicação física pelas linhas sólidas.

A informação de controle passada entre as camadas é transportada no cabeçalho da mensagem. Tais informações de controle incluem a identificação da mensagem, número de seqüência da mensagem (para que a ordem da mensagem seja respeitada), entre outros.

Um dos modelos de referência de arquitetura em camadas de redes de comunicação de dados é o *Transport Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP). As camadas do modelo TCP/IP estão demonstradas na Figura 2-2. Nos parágrafos a seguir as quatro camadas deste modelo de referência serão brevemente apresentadas de acordo com o autor TANEMBAUM (2003).

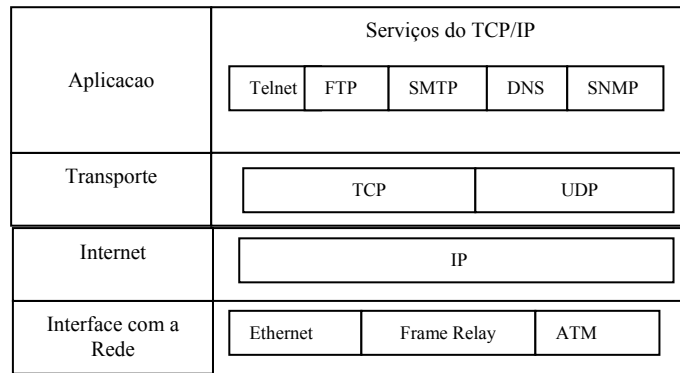


Figura 2-2 - camadas e protocolos do modelo TCP/IP

Fonte: TANEMBAUM. (2003)

A camada Internet ou de Rede do modelo de referência TCP/IP é responsável pelo encaminhando do pacote pela rede para que o mesmo alcance seu destino final. A camada Internet permite que os pacotes sejam recebidos no destino sem necessariamente obedecer a ordem em que foram enviados. A camada Internet define ainda o formato oficial que o pacote deve ter e também define o protocolo IP.

A camada de Transporte se encontra diretamente acima da camada Internet no modelo TCP/IP e sua função é permitir a comunicação entre dois equipamentos. Dois protocolos de transporte foram definidos para essa camada. O primeiro, o TCP, é um protocolo orientado a conexão que permite que um conjunto de bytes seja recebido no destino sem erros. O protocolo TCP fragmenta o conjunto de bytes (pacote) em mensagens discretas e as envia para a camada Internet. No destino final, o processo TCP agrupa novamente o conjunto de bytes. O segundo protocolo desta camada, *User Datagram Protocol* (UDP), é um protocolo não confiável e não orientado a conexão. É utilizado pelas aplicações que não querem usufruir das características de seqüenciamento do protocolo TCP.

Acima da camada de transporte está a camada de aplicação, que contém as aplicações de rede e seus protocolos. Esta camada inclui protocolos como o HTTP, que provê requisição e transferência de documentos pela Internet, o *Simple Mail Transfer Protocol* (SMTP), que provê transferência de mensagens de correio eletrônico, o *File Transfer Protocol* (FTP), que provê a transferência de arquivos entre dois sistemas finais, entre outros.

A Internet é atualmente a rede de computadores que utiliza arquitetura em camadas baseada no modelo TCP/IP mais utilizada no mundo, estando em franca expansão. A

Internet perde, em termos de abrangência, somente para o sistema telefônico fixo (KUROSE; ROSS, 2006).

O item 2.1 a seguir apresenta uma descrição da Internet, seus componentes e serviços e possuem, como referência, se não citado explicitamente, os autores KUROSE; ROSS (2006).

2.1 INTERNET

A Internet pública é uma rede de computadores mundial, que interconecta milhares de computadores pessoais, estações de trabalho Unix e servidores que armazenam e transmitem informações como páginas *World Wide Web* (WWW) e mensagens eletrônicas mundo afora. A Internet agrega, cada vez mais, telefones celulares, agendas digitais (PDAs), câmeras, automóveis, entre outros. Todos esses dispositivos são denominados hospedeiros (*hosts*) ou sistemas terminais (*end systems*). As aplicações de Internet, como páginas WWW e *e-mail* são programas de aplicações de rede executados nos sistemas terminais que utilizam protocolos que controlam o envio e recebimento de informações na Internet, tais como o TCP e IP. Sistemas terminais são conectados uns aos outros por enlaces (*links*) de comunicação que são compostos por diferentes tipos de meios físicos como: cabos coaxiais, fios de cobre, fibras óticas e espectro de rádio e que transmitem dados a diferentes taxas. A taxa de transmissão do enlace é geralmente denominada de largura de banda do enlace e é medida em bits/segundo. Na maioria das vezes, sistemas terminais são indiretamente conectados uns aos outros por meio de dispositivos de comutação intermediários, conhecidos como roteadores.

Segundo STALLINGS (2005), todos os componentes da Internet utilizam o protocolo IP e seguem certas convenções de nomenclatura e endereçamento. A hierarquia dos componentes da Internet consiste, de baixo para cima, de sistemas terminais conectados a *Internet Service Providers* (ISPs) através de redes de acesso, que podem ser uma rede local pertencente a uma companhia ou universidade, uma linha telefônica discada com um modem, ou um acesso de alta velocidade via cabo ou telefone (STALLINGS, 2005). Os ISPs locais estão conectados a ISPs regionais, que por sua vez estão conectados a ISPs

nacionais e internacionais. Os ISPs nacionais e internacionais estão conectados no mais alto alinhamento da hierarquia.

A Internet permite que aplicações distribuídas presentes nos hospedeiros troquem informações umas com as outras. Tais aplicações incluem *login* remoto, transferência de arquivos, *email* eletrônico, *streaming* de vídeo e áudio, conferências de áudio e vídeo, jogos distribuídos, a WWW, entre outros. Ressalta-se ainda que a *Web*, outro nome dado a Internet, não é uma rede separada, mas sim uma das várias aplicações distribuídas que usam serviços de comunicação concedidos pela Internet.

A seguir serão detalhados os componentes da Internet.

Componentes da Internet

Os componentes mais conhecidos da Internet são os computadores (sistemas terminais), roteadores e switches. Os computadores estão na periferia da Internet e os roteadores e switches no *Core* da Internet (Núcleo da Rede). Portanto, os componentes da Internet serão descritos a seguir de acordo com sua localização.

Sistemas Terminais

Hospedeiros são também referenciados como “sistemas terminais” porque estão situados na margem da Internet e são divididos em duas categorias: clientes e servidores. No relacionamento dessas duas categorias, um programa de cliente que está funcionando em um sistema terminal solicita e recebe informações de um servidor que está funcionando em outro sistema terminal. O modelo de relação cliente-servidor é sem dúvida a estrutura mais predominante nas aplicações de Internet, pois a Web, e-mail, transmissão de arquivos, *login* remoto (ex. Telnet), grupos de notícias e várias outras aplicações populares adotam esse modelo.

Dado que o cliente geralmente funciona em um computador e o servidor em outro, aplicações cliente-servidor da Internet são por definição aplicações distribuídas. O cliente e o servidor interagem entre si comunicando através da Internet.

Roteadores

Localizados no Core da Internet, um roteador é um processador que conecta duas redes e tem como função principal repassar dados de uma rede para outra através de uma rota ou caminho que inicia no sistema final de origem até o sistema final de destino (STALLINGS, 2005). Os roteadores servem como uma “caixa preta” que transferem mensagens entre os componentes de comunicação distribuídos de uma aplicação da Internet. Para saber por qual rota os dados devem ser enviados, o roteador precisa verificar o endereço do destino de cada pacote, que está armazenado no cabeçalho de cada pacote. Quando um pacote chega a um roteador da rede, o mesmo examina uma parte do endereço de destino e encaminha o pacote para o roteador adjacente. Mais especificamente, cada roteador tem uma Tabela de roteamento que mapeia o endereço de destino a um enlace de saída.

Com a breve apresentação dos componentes da Internet torna-se necessário conhecer os tipos de serviços fornecidos pelos mesmos: serviços orientados e não orientados a conexão. As características de tais serviços são resumidas a seguir.

Serviços Fornecidos pelos Componentes da Internet

A Internet oferece dois tipos de serviços: serviços orientados a conexão e não orientados a conexão. As características desses serviços serão abordadas nos próximos itens.

Serviços Orientados a Conexão

Ao optar por utilizar um serviço orientado a conexão, o usuário primeiro estabelece a conexão, usa a conexão e depois a libera. Em alguns casos quando uma conexão é estabelecida, o emissor, o receptor e a subrede conduzem uma negociação (*handshaking*) para selecionar os parâmetros a serem utilizados, como tamanho máximo da mensagem, qualidade de serviço necessária, entre outros (TANEMBAUM, 2003).

O serviço de conexão orientado da Internet inclui outros serviços, como transferência de dados confiável, controle de fluxo e de congestionamento. Transferência de dados confiável significa que uma aplicação pode contar que a conexão irá entregar ao receptor todos os dados sem erros e corretamente ordenados. Confiabilidade na Internet é adquirida através do uso de reconhecimentos (*acknowledgments*) e retransmissões. Controle de fluxo

certifica que nenhum lado de uma conexão inunda o outro lado com o envio de vários pacotes a uma velocidade muito alta, uma vez que força o sistema terminal de origem a reduzir sua taxa de envio sempre que perceber tal risco. Já o controle de congestionamento força sistemas terminais a diminuir a taxa de envio de pacotes. Os sistemas terminais são alertados sobre a existência de congestionamento severo quando param de receber reconhecimento para os pacotes já enviados. O protocolo que viabiliza o serviço orientado a conexão da Internet é o TCP.

Vale ressaltar que o TCP não é o serviço utilizado pelos pacotes de voz. Entretanto, grande maioria das demais aplicações presentes na Internet usa TCP, como Telnet (acesso remoto), SMTP (mensagem eletrônica), FTP (transferência de arquivo) e HTTP (para a *Web*).

Serviços Não Orientados a Conexão

Os serviços não orientados a conexão podem ser compreendidos a partir de uma analogia com o sistema postal (TANEMBAUM, 2003). Cada pacote (carta) contém o endereço de destino completo e cada um é roteado através do sistema, independentemente das demais mensagens. Normalmente quando duas mensagens (cartas) são enviadas para o mesmo destino a primeira a ser enviada é a primeira a ser recebida. Entretanto, é possível que a primeira mensagem sofra atrasos e a segunda mensagem chegue antes. A aplicação de origem simplesmente envia o pacote, sem a realização de *handshaking*. Como não há *handshaking*, os dados são entregues mais rapidamente e, como também não há *acknowledgments*, a origem nunca saberá se os pacotes alcançaram o destino. Os serviços não orientados a conexão são fornecidos pelo protocolo *User Datagram Protocol* (UDP), que é o protocolo utilizado pelos pacotes de voz.

Um ponto importante a ser destacado é que uma rede IP pode ser tanto orientada ou não orientada à conexão. Ou seja, a rede pode oferecer serviços não orientados à conexão (protocolo UDP) a algumas aplicações e serviços orientados à conexão (protocolo TCP) a outras aplicações.

Para que os serviços oferecidos pela Internet alcancem o destino final, os mesmos podem ser transportados através de comutação por circuito ou comutação por pacote. Ambos os tipos de comutação serão brevemente abordados a seguir.

Transporte dos Serviços Oferecidos pela Internet

Os pacotes de dados dos serviços oferecidos pela Internet são transportados ou por comutação de pacotes ou por comutação de circuitos. Os tipos de transporte disponíveis na Internet são tratados nos dois próximos itens.

Comutação de Pacote e Comutação de Circuito

Em redes comutadas por circuito os recursos necessários em um percurso (*buffer*, largura de banda) para prover comunicação entre os sistemas remotos, são reservados durante toda a sessão. Já em redes comutadas por pacote esses recursos não são reservados antecipadamente. A ausência de reserva antecipada permite que diversas comunicações entre sistemas terminais dividam, simultaneamente, o mesmo ou partes de um trajeto. Pode-se considerar a Internet como uma rede comutada por pacote.

Em redes comutadas por pacote, quando o emissor possui um bloco de dados a ser enviado, o mesmo é armazenado no primeiro roteador e encaminhado de acordo com seu endereço de destino, sem ser segmentado, nó por nó. A ausência de segmentação dos blocos de dados é característica das redes *store-and-forward*, onde o comutador (*switch* ou roteador) deve receber todo o pacote antes de iniciar a transmitir o primeiro bit do pacote no enlace de saída. Quando o bloco de dados chega em um nó, independente desse nó ser ou não o destino final, o mesmo é inspecionado para garantir que não há erros. A espera para obter todo o pacote pode propiciar um atraso em cada enlace de entrada ao longo da rota do pacote. Esse atraso é proporcional ao tamanho do pacote em bits.

A apresentação das características da Internet possibilita entender a grande preocupação em garantir que os pacotes que contém voz sejam poupados dos possíveis impactos causados pelas redes de comunicação de dados. Portanto, para minimizar o impacto das características da Internet, os fatores que mais influenciam o desempenho de uma rede de comunicação de dados serão abordados na seção 2.2.

2.2 DESEMPENHO DE REDE DE COMUNICAÇÃO DE DADOS

De acordo com YANG e CHOU (2002) os fatores que causam os maiores impactos no desempenho de uma rede de comunicação de dados são:

- Nó: cliente rodando a aplicação ou o servidor que armazena os dados
 - Capacidade de processamento do nó: a operação de compressão dos dados deve ser realizada antes da transmissão dos mesmos. É evidente que a capacidade de processamento do nó pode afetar a velocidade de processamento da informação. O atraso de computação é reduzido utilizando nós com alto poder de processamento
 - Tamanho do *buffer* do nó: o *buffer* é usado para sincronizar a taxa de transmissão dos pacotes entre os roteadores e os nós. Um *buffer* com tamanho suficiente pode alcançar uma taxa de transmissão estável e reduzir a variação no atraso de transmissão.
 - Número de nós: quando o número de nós em uma subrede aumenta, a possibilidade de congestionamento de tráfego também aumenta, afetando a eficiência de alocação de recursos na rede.
- Roteadores
 - Capacidade de processamento dos roteadores: é fator chave para computar o custo do caminho a ser usado para a transmissão dos pacotes, para determinar o status do fluxo e para alocar corretamente os recursos disponíveis para cada pacote.
 - Tamanho do *buffer* do roteador: influência direta na sincronização dos pacotes entrantes e saíntes.
 - Número de nós intermediários: o atraso computacional de transmissão e o tempo de negociação entre nós aumentam de acordo com o número de nós intermediários na rede.
 - Alcance/âmbito da vazão da rede: indica o estado atual do tráfego na rede. Implica que o roteador precisa coletar informações como o volume atual de fluxo de dados e a quantidade de recursos disponíveis. Um roteador pode avaliar se o QoS das aplicações foi honrado de acordo com o alcance da vazão da rede.

- Tempo de vida de um pacote: se não houver resposta de reconhecimento dentro de um tempo pré-estipulado de vida de um pacote, após o envio do mesmo, pode-se assumir que o pacote foi perdido ou que a condição de tráfego da rede é ruim. O pacote pode ser retransmitido ou transmitido por outro caminho.
- Tamanho do pacote: determina a quantidade de pacotes e tem uma relação direta com o tempo de transmissão do mesmo. Ao dividir os dados em diversos pacotes com um tamanho razoável, o roteador será capaz de entregá-los equilibradamente, reduzindo ainda a taxa de erros e o tempo de transmissão.
- Parâmetros que dependem do Enlace:
 - Largura de banda: é a largura efetiva do espectro em um enlace, medida geralmente em MHz.
 - Taxa de dados: quantidade de dados a ser transmitida em um segundo, sendo medida em Mbps. O tempo de transmissão será menor em um enlace com alta taxa de dados.
 - Atraso de propagação: é igual à distância d de um enlace dividido pela velocidade de propagação V . Em transmissões guiadas, V é 0.67 vezes a velocidade da luz para fibra ótica e cabos de cobre ($2 * 10^8$ m/s). Quanto maior à distância d de um enlace maior o atraso de propagação.
 - Peso do enlace: os diferentes custos de comunicação e fluxos de enlace causam as variações nos pesos do enlace. O peso do enlace é um fator chave para seleção de rotas para evitar congestionamento e para balancear o fluxo de dados entre os diversos enlaces.

Com base na definição de redes de comunicação de dados e nas características apresentadas, o capítulo a seguir aborda a possibilidade do tráfego presente em tais redes ter, como um de seus componentes, pacotes contendo voz e descreve os requisitos desejados para que tal tráfego alcance seu destino final com qualidade satisfatória.

3 REDES IP MULTISSERVIÇOS

Dando continuidade a revisão bibliográfica desta dissertação, este capítulo descreve as características das redes IP multisserviços, a denominação dada a uma rede IP que transporta, entre outros, pacotes contendo voz. Após a apresentação das características das redes IP multisserviços as características da transmissão de VoIP incluindo arquitetura, digitalização da voz, protocolos serão abordadas. Finalmente, os fatores que afetam a qualidade da voz e as métricas utilizadas para qualificar a voz em redes IP serão apresentados.

Na última década, com o aumento da acessibilidade e popularização da Internet, houve um crescimento considerável na disponibilização de novos serviços em redes IPs. A maioria desses serviços utiliza a Internet para transmissão e recepção de voz e vídeo, tanto em tempo real como com armazenamento e posterior divulgação.

A Internet faz o possível para entregar, no menor espaço de tempo, o pacote (datagrama) ao destino. Entretanto, não consegue se comprometer com nenhum valor máximo de atraso fim-a-fim, nem com um valor mínimo de variação do atraso (*jitter*) (KUROSE; ROSS, 2006). Se as características de melhor esforço da Internet não forem adequadas para as aplicações multimídia, só será possível ofertar serviços de voz e vídeo se a largura de banda for abundante, principalmente em horários de pico (FINEBERG, 2002). Como o custo de largura de banda vem aumentando gradativamente, novas formas de viabilizar o transporte de pacotes de voz em redes IP foram encontradas. Entre tais formas podem ser citadas:

- Em redes WAN, mecanismos de QoS como arquitetura de Serviços Diferenciados (DiffServ) e *Multi Protocol Label Switching* (MPLS)
- Em tecnologias *Local Area Networks* (LAN), como *Ethernet full duplex* comutada, mecanismos baseados no hospedeiro, incluindo a marcação dos campos 802.1D e DiffServ, a iniciação da sinalização *Resource Reservation Protocol* (RSVP) e o controle de chamadas
- *Interworking* entre os mecanismos de QoS, como a operação de serviços integrados (IntServ) sobre redes DiffServ.

- Infra-estrutura de serviços e políticas que definem e reforçam SLAs (*Service Level Agreement*), implementações de QoS diferenciados e controle de admissão de chamadas (CAC) para VoIP.

VoIP se tornou conhecido porque reduz custos através do compartilhamento de recursos de rede e porque oferece oportunidade para o desenvolvimento de serviços multimídia (TAKAHASHI; YOSHINO, 2004). A seguir serão apresentadas as principais características deste serviço, iniciando pela arquitetura típica VoIP, incluindo o comportamento da voz em redes IP, os protocolos criados para melhor adaptação de serviços multimídia (que incluem voz e vídeo) e as ferramentas utilizadas para minimizar o impacto das características de redes IP em tráfegos de voz.

3.1 ARQUITETURA VOIP

Uma representação lógica da arquitetura funcional de VoIP é apresentada na Figura 3-1. A Tabela 3-1 descreve, com uma breve explicação, cada componente da arquitetura da Figura 3-1.

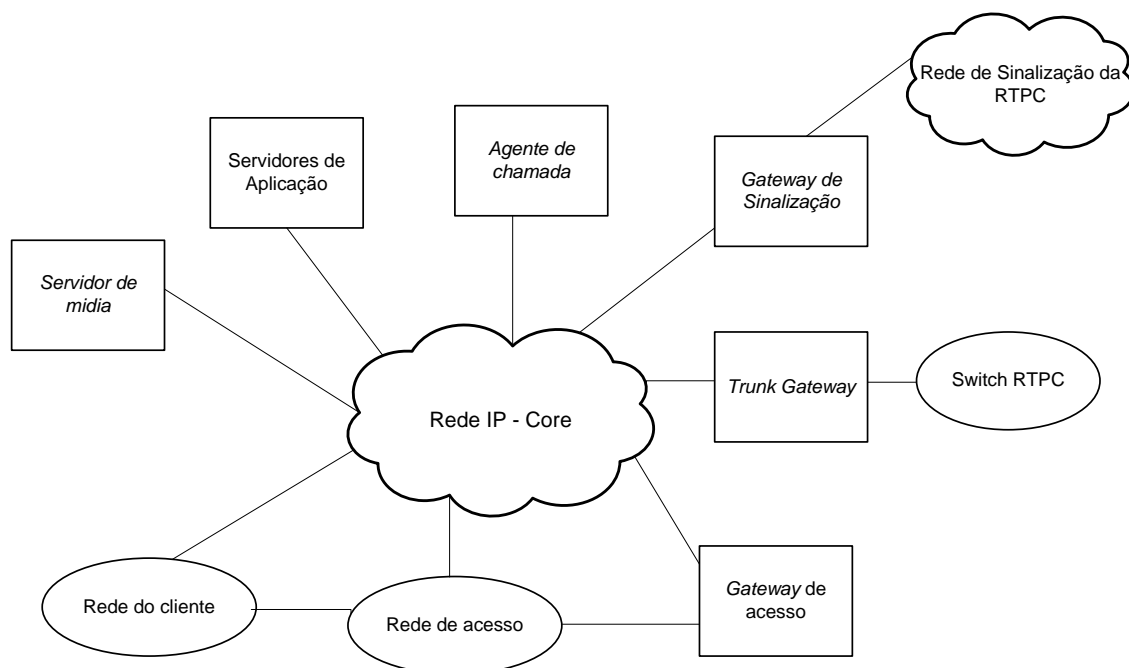


Figura 3-1 Arquitetura Funcional de VoIP

Fonte: JOHNSON et al. (2004)

Tabela 3-1 Descrição Componentes Arquitetura VoIP

Fonte: JOHNSON et al. (2004)

ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Rede de acesso (<i>access network</i>)	A rede de acesso provê conectividade entre o CPE (<i>Customer Premise Equipment</i>) e os <i>gateways</i> de acesso da rede do provedor de serviço. Existem vários tipos de acesso: acesso direto TDM, TDM comutado e acesso banda larga (cabo, DSL).
<i>Gateway</i> de acesso (<i>Acess Gateway - AG</i>)	O AG está localizado na rede do provedor de serviço e suporta a interface do lado da linha ao core da rede IP para uso de telefones, PBXs, etc. Este elemento provê funções como empacotamento e controle de eco.
<i>Trunk Gateway</i> :	Possui interfaces conectadas a RTPC e a rede IP.
Agente de Chamada (<i>Call Agent - CA</i>)	O CA localiza-se na rede do provedor de serviço e é responsável pelas funções de lógica da chamada e controle de chamadas, tipicamente mantendo o estado da chamada para todas as chamadas na rede. Vários CAs interagem com servidores de aplicação para fornecer serviços que não são diretamente realizados em CAs. Agentes de chamadas também são conhecidos como controladores de media <i>gateways</i> , <i>softswitches</i> e controladores de chamadas.
<i>Gateway</i> de Sinalização (<i>Signaling Gateway - SG</i>)	Fornece a interface de sinalização entre a rede VoIP e a RTPC
Rede IP – Núcleo	A principal função é fornecer roteamento e transporte de pacotes IP. O Core IP também isola os <i>gateways</i> e suas redes de acesso associadas
Servidor de mídia (<i>Media server</i>)	O MS está localizado na rede do provedor de serviço e usa um protocolo de controle como H.248 ou MGCP, sob o controle do CA ou servidor de aplicação, para fornecer anúncios e tons e para coletar informações dos usuários
Servidor de aplicação	Também está localizado na rede do provedor de serviço e fornece a lógica do serviço e execução para uma ou mais aplicações que não são diretamente suportadas no CA.

3.2 DIGITALIZAÇÃO DA VOZ

Para facilitar o entendimento dos motivos da alta sensibilidade dos pacotes de voz que trafegam em uma rede IP, faz-se necessário compreender como uma chamada de voz é manipulada em redes IP.

Voz é um sinal analógico que varia lentamente no tempo, com utilização de frequência inferior a 4kHz (MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, 2003). Para a transmissão em redes IP o sinal de voz analógico é convertido em um sinal digital no emissor e o processo reverso é realizado no receptor.

A conversão do sinal analógico para o sinal digital é realizada através de CODECs. Os CODECs processam o sinal analógico de entrada e o convertem em um sinal digital e os valores binários são utilizados para representar a voz. Existem vários CODECs

desenvolvidos e padronizados pelo ITU-T (*International Telecommunication Union Standardization Sector*), tais como (MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, 2003):

- G.711: é o mais simples, usa *Pulse Code Modulation* (PCM) e produz um sinal digitalizado de 64kbps.
- G.726: descreve o método de compressão *Adaptive Differential Pulse Code Modification* (ADPCM) que codifica usando amostras de 4 bits, oferecendo taxa de transmissão de 32kbps. Ao contrário de PCM, os 4 bits não codificam a amplitude diretamente, mas sim a diferença em amplitude, bem como a taxa de mudança dessa amplitude.
- G.728: descreve uma variação da compressão *Code Excited Linear Prediction* (CELP) de baixa variação de atraso (16kbps). A compressão CELP utiliza procedimentos de processamento de sinal que comprimem a voz através do envio de informações básicas sobre a voz original, reduzindo a largura de banda necessária para a transmissão de voz, sacrificando a qualidade e adicionando complexidade e atraso de codificação.
- G.729A: utiliza a compressão CELP para codificar a voz em fluxos. As variações de G.729A (G.729A e G.729A A) diferem quanto à complexidade computacional e ambas geralmente fornecem qualidade de voz equivalente a ADPCM de 32kbps.
- G.723.1: é uma técnica de compressão que pode comprimir, a baixas taxas tanto voz como outros componentes de sinais de áudio de serviços multimídia. Duas taxas de bits estão associadas a esse CODEC: 5.3 e 6.3 kbps. A taxa mais alta é baseada em *Multi Pulse Multi Level Quantization* (MP-MLQ), fornecendo maior qualidade. Já a taxa mais baixa é baseada em CELP, fornece qualidade razoável proporcionando aos desenvolvedores de sistema maior flexibilidade.

Entre as características de cada CODEC, a mais significativa é a quantidade da largura de banda necessária para enviar a voz (ODOM; CAVANAUGH, 2005). A Tabela 3-2 lista os principais CODECs e a banda utilizada em cada um deles.

Tabela 3-2 Principais CODECs X banda utilizada

Fonte: ODOM; CAVANAUGH (2005)

CODEC	TAXA DE BITS PARA PAYLOAD * (KBPS)	TAMANHO DO PAYLOAD
G.711 PCM	64	160 bytes
G.726 ADPCM	32	80 bytes
G.729A CS-ACELP	8	20 bytes
G.723.1 ACELP	5.3	20 bytes

*o *payload* contém a voz digitalizada, mas não contém cabeçalhos e trailers utilizados para enviar o tráfego de voz.

Após a codificação, a fala codificada é então empacotada em pacotes de tamanhos iguais (MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, 2003). Cada pacote inclui cabeçalhos de diversas camadas de protocolos, como os cabeçalhos dos protocolos RTP (12 Bytes), UDP (8 Bytes), IP (20 Bytes) bem como o cabeçalho da camada de enlace e o *payload*, compreendendo a fala codificada durante certo período de tempo, conforme demonstrado na Figura 3-2.

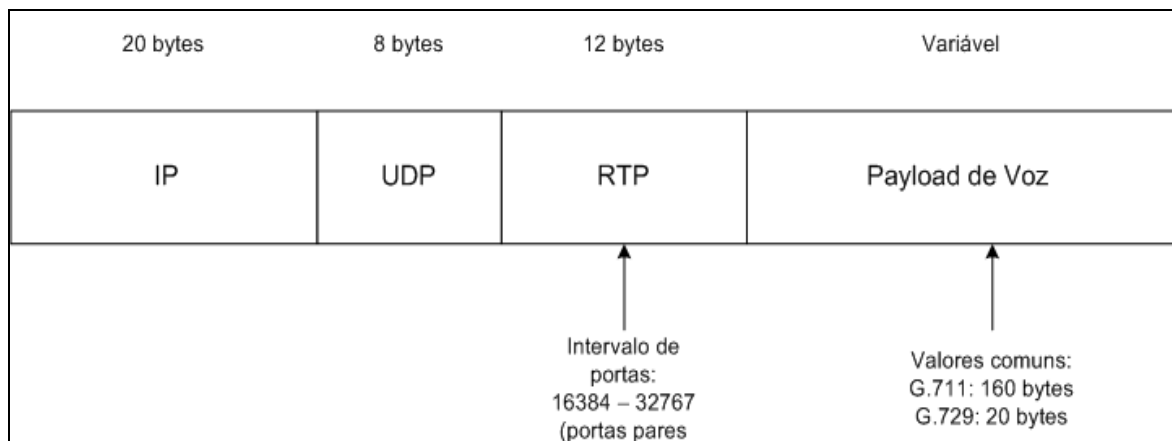


Figura 3-2 Cabeçalhos presentes em um pacote IP

Fonte: ODOM; CAVANAUGH (2005)

Diante da tendência de convergência das redes, os organismos padronizadores, como IETF e ITU, desenvolveram protocolos para suportar as novas aplicações, entre elas o serviços de voz. Os principais protocolos para os serviços VoIP serão abordados a seguir.

3.3 PROTOCOLOS VOIP

Os principais protocolos utilizados na transmissão de voz sobre redes IP serão descritos a seguir.

Real Time Protocol (RTP)

A RFC 1889 define o RTP que é utilizado, entre outras funções, para transportar voz em redes IP. O RTP geralmente utiliza o UDP como protocolo da camada de transporte (KUROSE; ROSS, 2006). O emissor associa um cabeçalho RTP aos dados de áudio (exemplificado na Tabela 3-3), geralmente com tamanho igual a 12 bytes, que contém informações sobre o tipo de codificação de áudio, um número de seqüência e uma marca de tempo, entre outras. O pacote RTP é então encapsulado pelo protocolo UDP. No destino a aplicação retira o áudio codificado de dentro do pacote RTP e utiliza as informações contidas no cabeçalho do pacote RTP para decodificar e reproduzir o áudio. O RTP, por ser um protocolo padronizado, pode viabilizar a comunicação entre dois softwares de telefonia IP distintos (de diferentes fabricantes).

Tabela 3-3 Campos de cabeçalho do RTP

Fonte: KUROSE; ROSS (2006)

Tipo de carga útil	Número de seqüência	Marca de tempo	Identificador de sincronização da fonte	Campos variados
--------------------	---------------------	----------------	---	-----------------

Segue, na Tabela 3-4, definição sucinta do papel de cada um dos campos do cabeçalho RTP:

Tabela 3-4 Campos do cabeçalho RTP

Fonte: KUROSE; ROSS (2006)

CAMPO DO CABEÇALHO	DEFINIÇÃO
Tipo de carga útil	Indica o tipo de codificação de áudio utilizado
Número de seqüência	É usado pelo receptor para detectar, e se possível restaurar, a perda de pacotes dentro de um determinado conjunto de pacotes.
Marca de tempo	Indica o instante de amostragem do primeiro byte no pacote RTP.
Identificador de sincronização da fonte (SSRC – <i>synchronization source identifier</i>)	Indica a fonte da corrente RTP

É importante ressaltar, entretanto, que o protocolo RTP não oferece mecanismos de entrega confiável de dados e não oferece QoS (KUROSE; ROSS, 2006).

Protocolo de Controle RTP (RTCP)

O protocolo de controle RTCP, também especificado na RFC 1889, é usado por aplicações multimídia em conjunto com o RTP. Os pacotes RTCP são enviados periodicamente contendo relatórios do remetente e/ou receptor com dados estatísticos do número de pacotes enviados, perdidos e variação de atraso. Essas informações são usadas de diversas maneiras, como por exemplo, para determinação de problemas.

Para cada corrente RTP recebida como parte de uma sessão, o receptor gera um relatório de recepção (KUROSE; ROSS, 2006). O receptor agrega seus relatórios de recepção em um único pacote RTCP. O relatório de recepção contém diversos campos, sendo os mais importantes:

- O SSRC da corrente RTP;
- A fração de pacotes perdida dentro da corrente RTP (pacotes RTP perdidos / pacotes RTP enviados);
- O último número de seqüência recebido na corrente de pacotes RTP
- A variação de atraso entre chegadas.

O remetente também cria e transmite pacotes de relatório RTCP, porém com informações do remetente, incluindo:

- O SSRC da corrente RTP;
- A marca de tempo e o tempo do relógio físico (tempo real) do pacote da corrente RTP gerado mais recentemente;
- O número de pacotes enviados na corrente;
- O número de bytes enviados na corrente.

Session Initiation Protocol (SIP)

SIP é um padrão IETF e está detalhado na RFC 3261. De acordo com a RFC 3261, SIP é um protocolo de controle da camada de aplicação que pode estabelecer, modificar e terminar sessões multimídia, como chamadas telefônicas realizadas pela Internet. Resumidamente, segundo KUROSE e ROSS (2006), o protocolo SIP:

- Viabiliza a estrutura e mecanismos para estabelecer chamadas entre dois indivíduos por uma rede IP;
- Permite ao indivíduo que inicia a chamada determinar o endereço IP do indivíduo que é chamado;
- Realiza o gerenciamento da chamada, como convidar outros participantes, alterar a codificação, tudo durante a chamada, e ainda transferir e segurar chamadas.

Voltando agora para o caminho percorrido pelos pacotes de voz, à medida que os mesmos são enviados através da rede IP, eles enfrentam atrasos variáveis e possíveis perdas (MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, 2003). Para que tais atrasos e perdas fiquem imperceptíveis ao receptor, um *playout buffer* é usado. Os pacotes são mantidos no *buffer* até a obtenção de um número suficiente de pacotes para evitar que a voz chegue picotada no receptor. Qualquer pacote que chegue após determinado tempo (*scheduled playout time*) é descartado.

O conteúdo dos pacotes de voz recebidos é entregue ao decodificador, que reconstrói o sinal de voz. Decodificadores podem implementar métodos de supressão de perda de pacotes (PLC – *packet loss concealment*) que podem produzir reposições para perda de pacotes de dados (MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, 2003).

3.4 FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DA VOZ EM REDES IP

Conforme MARKOPOULOU, TOBAGI e KARAN, (2003), a qualidade da voz em redes IP é afetada, entre outros, pelos fatores:

- Codificação da voz;
- Perda de pacotes nos elementos da rede, causando degradação da qualidade de voz no receptor;
- Perda no *playout buffer* do receptor, causada pela variação de atraso (*jitter*) da rede IP;
- A presença de eco em várias situações, que pode ser uma grande fonte de degradação de qualidade.

A seguir serão aprofundados os principais fatores que afetam a qualidade da voz transmitida pela rede IP.

Jitter

Jitter é definido como a variação da taxa de chegada (variação de atraso na rede) de pacotes que foram transmitidos de forma uniforme (ODOM; CAVANAUGH, 2005). *Jitter* existe em redes IP já que em um ambiente de transmissão de voz por pacotes espera-se que o emissor envie pacotes de voz em intervalos regulares (geralmente o intervalo de amostragem da voz). Entretanto, esses pacotes de voz podem sofrer atraso ao longo da rede IP e não conseguem chegar no momento esperado e previsto no receptor. A diferença de tempo entre o momento que o pacote é esperado no receptor e o momento que o pacote realmente chega é denominada *jitter* (DAVIDSON; PETERS, 2000). As redes IP que suportam VoIP devem apresentar *jitter* de 5-10ms por nó (FILSFILS; EVANS, 2002).

Atraso

Para um pacote alcançar seu destino final é necessário que o mesmo transite pelos elementos da rede (switches e roteadores). Nesse trânsito, entretanto, o pacote fica suscetível a diversos tipos de atrasos existentes no caminho (KUROSE; ROSS, 2006). Se, por exemplo, o enlace estiver ocupado, ou seja, se já houver um pacote trafegando pelo enlace, o segundo pacote entrará na fila (*buffer*) do roteador, para esperar a liberação do enlace. O próximo pacote a trafegar no enlace será, portanto o primeiro pacote da fila. As chamadas de voz sofrem quando se defrontam com atraso em excesso. Os sintomas incluem voz picotada e até descarte de chamadas. O *International Telecommunication Union (ITU) Telecommunication Standardization Sector (ITU-T)*, desenvolveu a recomendação G.114 que estabelece que o atraso tolerável em uma conversa telefônica unidirecional não deve ultrapassar 150ms (JAMES; CHEN; GARRISON, 2004).

As chamadas de voz que trafegam nas redes IP podem se deparar com os seguintes atrasos:

- Atraso de processamento
- Atraso de fila
- Atraso de transmissão
- Atraso serial
- Atraso de propagação

- Atraso de enfileiramento
- Atraso de encaminhamento
- Atraso devido aos CODECs
- Atraso devido ao empacotamento
- Atraso do *buffer de-jitter*

Segue abaixo o detalhamento das variações do atraso.

- Atraso de processamento

O atraso de processamento ocorre da análise do cabeçalho do pacote. Em outras palavras, é o tempo gasto para determinar o destino do pacote e para verificar se houve erros em bits existentes no pacote, decorrentes da transmissão do nó anterior para o atual (KUROSE; ROSS, 2006). Nos atuais roteadores tal atraso é imperceptível, tipicamente na ordem de 10 a 20 μ s por pacote (FILSFILS; EVANS, 2002) e sua variação pode ser causada por pacotes que requeiram mais processamento comparado a outros pacotes.

- Atraso de fila

O atraso de fila é o tempo que um pacote precisa esperar na fila de um roteador para ser transmitido para o próximo nó ou destino final (KUROSE; ROSS, 2006). O tempo de atraso varia de acordo com o tamanho da fila e a posição do pacote na mesma. O tempo de atraso será zero se não houver nenhum outro pacote na fila já aguardando para ser transmitido. Se o pacote ficar no final de uma longa fila, o atraso pode variar de micro a milissegundos.

De todos os componentes do atraso total, o atraso de fila é o mais complexo e o único que pode variar de pacote a pacote. Isto ocorre porque se, por exemplo, chegarem simultaneamente 10 pacotes na fila vazia de um roteador, o primeiro pacote não sofrerá nenhum atraso para ser transmitido, porém o décimo, por ser o último da fila, sofrerá um atraso consideravelmente alto. Diante do exposto, medições estatísticas, como variância, atraso de fila médio e probabilidade de exceder um valor específico são usados para caracterizar o atraso de fila.

Para analisar a criticidade do atraso de fila alguns parâmetros são utilizados, conforme descritos abaixo:

- a pacotes/segundo é a taxa média de chegada dos pacotes na fila
- R bits/segundo é a taxa de retirada dos bits da fila (taxa de transmissão)
- L bits é o tamanho dos pacotes

Portanto:

$L*a$ Equação 3-1 - Taxa média de chegada de bits (bits)

e

$L*a/R$ Equação 3-2 - Intensidade de tráfego (bits/seg)

Se $L*a/R > 1$, a velocidade média com que os bits chegam na fila do roteador é maior que a taxa com que os bits são transmitidos para o enlace, causando portanto enormes filas e altos atrasos de fila. Mas, se $L*a/R \leq 1$ e se os pacotes chegarem no roteador obedecendo uma taxa constante, como L/R , os mesmos sempre encontrarão a fila vazia e o atraso de fila será mínimo. Porém, se os pacotes chegarem em rajadas periódicas, poderá haver atraso de fila.

- Atraso de transmissão

O atraso de transmissão é uma variável dependente do tamanho do pacote (em bits), L , e da taxa de transmissão do enlace (em Mbps), R (KUROSE; ROSS 2006). O atraso de transmissão é, portanto, o valor alcançado pela divisão de R por L (R/L) e pode variar de micro a milissegundos.

R/L Equação 3-3 - Atraso de transmissão (seg)

- Atraso serial

É o tempo necessário para codificar os bits de um pacote na interface física e depende da vazão do enlace e do tamanho dos pacotes (ODOM; CAVANAUGH, 2005). A equação 3-4 pode ser utilizada para calcular o atraso serial:

$$\frac{\#bits_enviados}{velocidade_do_enlace}$$
 Equação 3-4: Atraso Serial

O atraso serial pode ocorrer a qualquer momento após o envio do quadro. De acordo com DAVIDSON e PETERS (2000), a influência do atraso serial no atraso fim a fim é mínima.

- Atraso de propagação

É o tempo gasto para um bit atravessar o enlace (ODOM; CAVANAUGH, 2005). Quando um sinal elétrico ou ótico é inserido no enlace, a energia não se propaga de uma ponta a outra instantaneamente – ocorre o atraso de propagação, que pode ser afetado pelo material e comprimento do enlace. Para calcular o atraso de propagação utiliza-se a equação 3-5:

$$\frac{\text{comprimento_enlace_ (m)}}{3.0 \times 10^8 \text{ m/s}} \text{ ou } \frac{\text{comprimento_enlace_ (m)}}{2.1 \times 10^8 \text{ m/s}} \quad \text{Equação 3-5: Atraso de Propagação}$$

onde 3.0×10^8 é a velocidade da luz no vácuo e 2.1×10^8 é a velocidade da luz em meios de cobre ou óticos.

- Atraso de enfileiramento

É o atraso que um pacote sofre durante a espera de envio de um outro pacote (ODOM; CAVANAUGH, 2005). Em outras palavras, é o tempo gasto em filas existentes dentro de dispositivos da rede, por exemplo, em filas de saída de roteadores.

- Atraso de encaminhamento

É o tempo entre o recebimento de um pacote e a sua entrada na fila de saída (ODOM; CAVANAUGH, 2005). Atraso de enfileiramento não inclui o tempo que um pacote fica aguardando na fila, mas sim o tempo necessário para o roteador determinar a rota ou encaminhar o pacote.

- Atraso de empacotamento e atraso devido ao CODEC

Antes de um telefone IP enviar o pacote com a voz, o transmissor tem que discar os números, para a chamada ser estabelecida. Após o estabelecimento da chamada, o telefone IP inicia o processo de envio dos pacotes RTP (ODOM; CAVANAUGH, 2005). Portanto, haverá algum atraso entre o momento que o transmissor transmite a voz (fala) e quando o

pacote é enviado. Esse atraso é devido ao empacotamento e ao CODEC. O atraso devido ao empacotamento é o atraso que a voz sofre ao ser empacotada. Já o atraso devido ao CODEC é o tempo necessário para processar um sinal analógico e convertê-lo para o formato digital.

- Atraso fim-a-fim ou unidirecional

O atraso fim-a-fim (da origem ao destino) é a soma dos atrasos nodais e que para atingir um bom nível de interatividade, deve ser mantido abaixo de 150ms (KUROSE; ROSS, 2006). Segundo (MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, 2003), o atraso fim-a-fim inclui:

- O atraso que ocorre na codificação;
- O atraso que ocorre no empacotamento;
- O atraso que ocorre no trajeto entre o emissor e o receptor (tempo de propagação, tempo de transmissão gasto nos enlaces da rede, atrasos de enfileiramento nos elementos da rede);
- O atraso que ocorre no *playout* buffer;
- O atraso que ocorre no decodificador (geralmente desprezível).

Supondo que existam N pacotes, $N-1$ roteadores entre a origem e o destino, que a rede não está congestionada, que o atraso de processamento em cada roteador e na origem seja d_{proc} , que a taxa de transmissão de cada roteador e da origem seja R bits/s, que o atraso de propagação em cada enlace seja d_{prop} e que o atraso de transmissão, d_{trans} , seja L/R (KUROSE; ROSS, 2006), o atraso fim-a-fim será conforme descrito na equação 3-6.

$$d_{fim-a-fim} = N(d_{proc} + d_{trans} + d_{prop})$$

Equação 3-6: Atraso fim-a-fim

- Atraso devido ao *buffer* de de-jitter

Conforme já citado, *jitter* está presente em redes de dados e, embora não seja possível sua eliminação, é possível controlá-lo e minimizá-lo para reduzir seus efeitos em tráfegos sensíveis através do *buffer de-jitter*.

Os atrasos devido ao *buffer de-jitter* foram amplamente abordados por ODOM e CAVANAUGH (2005). Segundo estes autores, o *buffer de-jitter* coleta pacotes de voz e também os atrasos da voz ao ser escutada pelo receptor e os armazena. Com isso, se o próximo pacote presenciar *jitter* e aparecer com atraso, os pacotes do *buffer de-jitter* poderão ser divulgados. Em outras palavras, o *buffer de-jitter* armazena pacotes de voz antes de serem divulgados, permitindo que pacotes atrasados estejam menos suscetíveis a “romperem” o fluxo de voz.

O atraso decorrente da necessidade de preenchimento do *buffer de-jitter* antes da divulgação da voz é denominado atraso devido à primeira divulgação e é demonstrado na Figura 3-3.

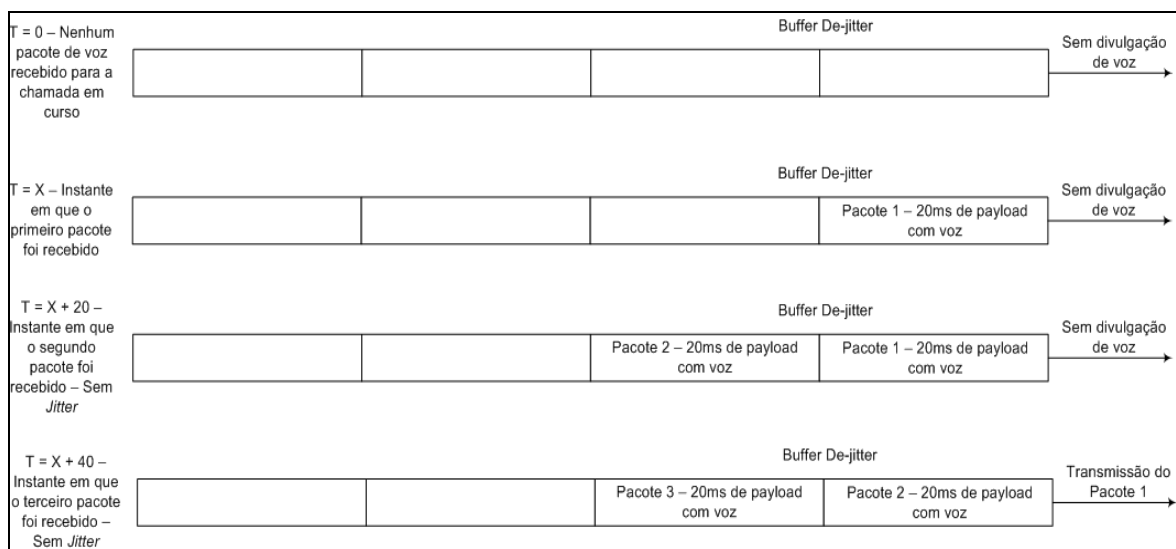


Figura 3-3 Buffer *de-Jitter* Cheio - Atraso Devido à Primeira Divulgação

Fonte: ODOM e CAVANAUGH (2005)

Na Figura 3-3, o atraso devido à primeira divulgação é de 40ms.

A Figura 3-4 demonstra a operação do *buffer de-jitter*, onde a transmissão de pacotes inicia imediatamente após completar o intervalo de tempo do atraso devido à primeira divulgação (40ms).

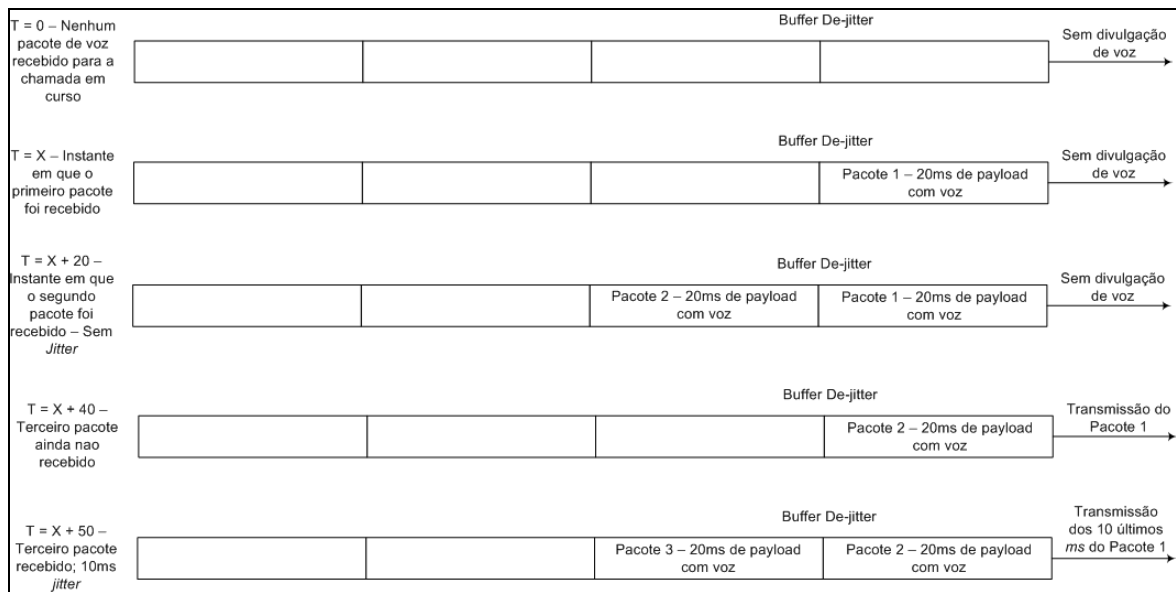


Figura 3-4 Buffer *de-jitter*, após atraso devido à primeira divulgação

Fonte: ODOM e CAVANAUGH (2005)

Na Figura 3-5, o segundo pacote sofre a mesma quantidade de atraso que o primeiro, supondo que o roteador envia os pacotes a cada 20ms. Se os pacotes chegam com uma diferença de 20ms, o atraso para cada pacote é o mesmo e não há *jitter*. Entretanto, como o terceiro pacote só chegou 40ms após a chegada do segundo pacote, houve 20ms de *jitter*. Já o quarto pacote só chega 45ms após o terceiro pacote, com 25ms de *jitter*. Como resultado, o *buffer de-jitter* esvazia e há um período de silêncio. Aliás, após o aparecimento do quarto pacote, o receptor o descarta, já que a transmissão tardia da voz é pior do que um período de silêncio.

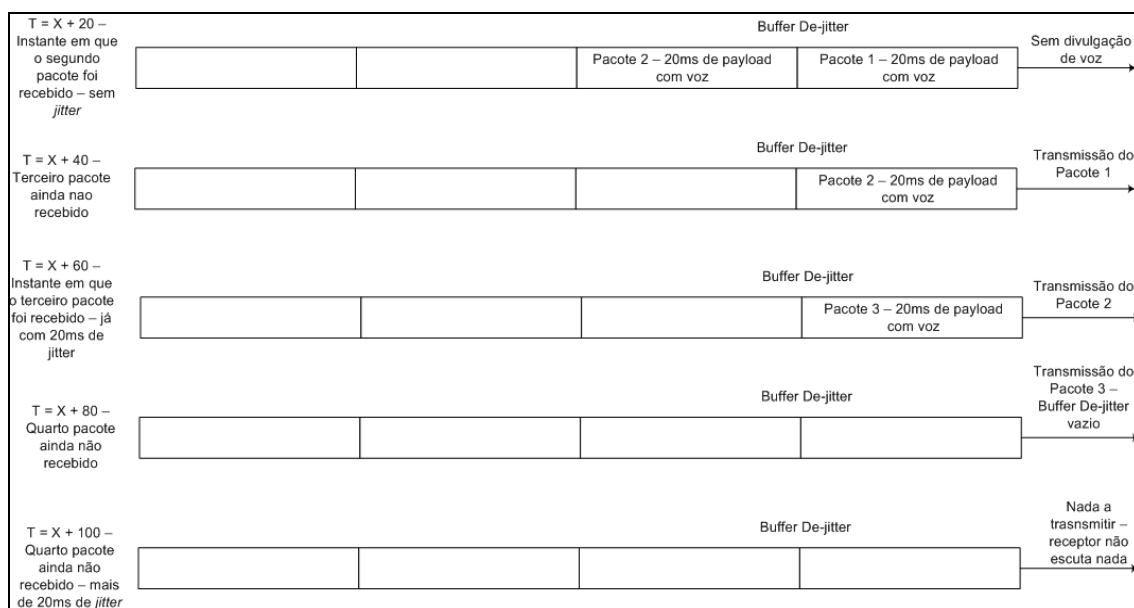


Figura 3-5 Funcionamento Buffer *De-jitter*

Fonte: ODOM e CAVANAUGH (2005)

As principais causas do *jitter* são os atrasos de rede e de enfileiramento. O atraso de enfileiramento pode ser reduzido e estabilizado pelo uso de filas que priorizam pacotes com voz. É possível também usar *Link Fragmentation and Interleaving (LFI)* para dividir os pacotes de dados, por exemplo, em partes menores e assim enviar um pacote de voz entre cada uma das partes dos pacotes de dados.

Eco

Uma das causas do eco, tópico abordado por MARKOPOULOU; TOBAGI; KARAN, (2003), é a reflexão dos sinais nos fios híbridos quatro-para-dois, que existe quando a ligação envolve uma combinação de um segmento de VoIP na Internet e um segmento de circuito na RTPC. De acordo com autores acima, outra causa de eco ocorre nos *softphones*, dado que o microfone na ponta remota captura a voz ecoada pelos alto-falantes e a transmite de volta para a ponta remota. O eco não é perceptível se o atraso fim-a-fim for muito baixo (menor que 10ms). Eco pode causar grandes debilitações na qualidade da voz se não for adequadamente cancelado e seus efeitos são aumentados por grandes atrasos. O efeito do eco pode ser suavizado com um cancelador de eco instalado próximo ao causador do mesmo.

Disponibilidade de Largura de Banda

Segundo a definição de ODOM e CAVANAUGH (2005), largura de banda é o número de bits por segundo que devem ser entregues através de um meio. Em alguns casos, a largura de banda equivale à velocidade do enlace físico, em outros equivale à frequência de relógio de uma interface.

Os mesmos autores comentam que chamadas de voz criam um fluxo com uma taxa de dados fixa, com iguais espaços de tempo entre os pacotes. Indicam ainda que a largura de banda necessária para uma chamada de voz na rede IP depende dos seguintes fatores:

- CODEC;
- Overhead do pacote (IP/UDP/RTP);
- *Framing* da camada de enlace;
- Compactação.

Voice Activity Detection (VAD) também influencia na largura de banda utilizada pelo *payload* de uma chamada de voz (ODOM; CAVANAUGH, 2005). Devido a VAD, o transmissor dos pacotes de voz não envia pacotes quando o locutor está em silêncio e, com isso, diminui a largura de banda necessária em aproximadamente 60 por cento. Nesse estudo não foi usado VAD, por não ser uma premissa escolhida pela área de Arquitetura e Tecnologia do provedor de serviço de telecomunicações, escopo deste trabalho.

Perda de Pacotes de Voz

Se um pacote chegar em um roteador e a fila estiver no seu limite, o pacote será descartado pelo roteador. Descarte de pacotes está diretamente relacionado com o aumento da intensidade do tráfego e com erros de bits (ODOM; CAVANAUGH, 2005). *Backbones* IP que suportam serviços VoIP geralmente possuem uma taxa média de perda de pacotes menor que 0.25 por cento (FILSFILS; EVANS, 2002).

3.5 MÉTRICAS DE 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 avaliação da qualidade de áudio é uma das principais etapas no desenvolvimento de um sistema VoIP.

Os métodos mais conhecidos para se avaliar a qualidade (ou clareza, inteligibilidade) da voz são MOS (*Mean Opinion Score*) e o modelo E. Tais métodos serão apresentados a seguir e, exceto explicitamente citado, as informações apresentadas se baseiam no artigo dos autores MARKOPOULOU, TOBAGI e KARAN, (2003).

MOS (*Mean Opinion Score*)

O estudo de efeitos individuais e coletivos é essencial na avaliação da qualidade da comunicação de voz na presença de falhas e no estabelecimento de medidas que reflitam a classificação subjetiva dos ouvintes. Esta medida subjetiva da qualidade, conhecida como MOS, utiliza uma escala de 1 a 5. MOS é valorizado, uma vez que avalia a experiência captada pelo ser humano, e é muito utilizado como medida de qualidade da chamada de voz. As simulações realizadas nesta pesquisa usaram o método MOS para classificar a qualidade da voz.

A classificação MOS acima de 4 equivale ao nível de qualidade disponível na RTPC (ODOM; CAVANAUGH, 2005). A Tabela 3-5 demonstra a degradação da voz devido à codificação e a relação de que menores taxas de codificação resultam em menores valores de MOS. A qualidade após a compressão, sem considerar o efeito da perda de pacote, é denominado qualidade intrínseca (MOS_{intr}). O esquema de codificação afeta a qualidade MOS intrínseca (antes de qualquer perda).

Tabela 3-5 Principais CODECs e suas características

Fonte: MARKOPOULOU, TOBAGI e KARAN (2003)

PADRÃO	TIPO DE CODEC	TAXA (KBPS)	QUADRO (MS)	MOS_{INTR}
G.711	PCM	64	10	4.43
G.729A	CS-ACELP	8	10	4.18
G.723.1	ACELP	5.3	30	3.83
G.723.1	MP-MLQ	6.3	30	4.00

Na interpretação da Tabela 3-5, considerando que exista a supressão de perda de pacotes e perda com durações de 10ms, MOS diminui de 1-1,5 unidades a cada 10 por cento de perda de pacote. Por outro lado, em experimentos sem supressão de perda de pacote, MOS diminui mais rapidamente, aproximadamente 1 unidade a cada 1 por cento de perda de pacote. Durações maiores de perda resultam em degradações mais perceptíveis. Finalmente, perdas intermitentes parecem afetar a resiliência do G.711, mas não a do G.729A.

Modelo E

O trabalho iniciado no *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) resultou no desenvolvimento, pelo ITU-T, do grupo de padrões conhecido como modelo E.

O modelo E é um modelo computacional que usa parâmetros de transmissão para prever a qualidade subjetiva da voz, fornecendo uma classificação geral R para a qualidade da chamada, em uma escala de 0 a 100. O modelo E combina diferentes debilitadores quando convertido para escalas apropriadas (R), conforme demonstrado no cálculo do fator R da equação 3.7.

$$R = (R_0 - I_s) - I_d - I_e + A$$

Equação 3-7: Fator R

Onde:

- R_0 é a relação sinal ruído baseada no envio e no recebimento de ruído de fundo;
- I_s captura defeitos que ocorrem simultaneamente com o sinal de voz, como um sinal de linha (*tone*) duvidoso e distorção quantitativa de PCM;

Como R_0 e I_s são intrínsecos ao sinal de voz transmitido e não dependem da transmissão na rede, tais parâmetros são irrelevantes na comparação de chamadas VoIP e RTPC.

- I_d e I_e capturam a degradação da qualidade devido às falhas relacionadas a atraso (perda de interatividade e eco) e distorção do sinal de voz (devido a codificação e perda de pacote), respectivamente;
- A é o fator de vantagem que considera os usuários que aceitam uma certa degradação na qualidade da chamada em prol das vantagens relacionadas a

utilização da rede IP. Para fins de comparação com a RTPC esse parâmetro é zerado.

O modelo E é importante porque quantifica a degradação MOS devido ao atraso I_d e à perda I_e . Além disso, o modelo E molda o efeito do barulho e outras falhas relacionadas à voz, permitindo, portanto que tais parâmetros sejam considerados. A característica mais importante do modelo E é a consolidação de todos os tipos de falhas em uma só classificação, usando aditividade em uma escala apropriada R.

A Figura 3-6 demonstra o valor MOS, sua relação com satisfação do usuário e classificação R do modelo E, de acordo com as recomendações G.107/Anexo B e G.109 do ITU-T.

<i>R</i>	<i>Satisfação do usuário</i>	<i>MOS</i>	
100 -----	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 2px;">Muito Satisfeito</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 2px;">Satisfeito</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 2px;">Alguns usuários não satisfeitos</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 2px;">Vários usuários não satisfeitos</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 2px;">Quase todos usuários não satisfeitos</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Não recomendado</div>	----- 4.5 -----	↑ Desejável ✕ Aceitável ✕ Não aceitável ↓
94.3 -----		----- 4.4 -----	
90 -----		----- 4.3 -----	
80 -----		----- 4.0 -----	
70 -----		----- 3.6 -----	
60 -----		----- 3.1 -----	
50 -----	----- 2.6 -----		
0 -----		----- 1 -----	

Figura 3-6: Relação MOS e classificação R do modelo E

Fonte: MARKOPOULOU, TOBAGI; KARAN (2003)

Conforme mencionado no início deste capítulo, as características de melhor esforço da Internet precisam ser adequadas para a oferta de serviços de voz. Uma das formas de realizar tal adequação é através da implementação de mecanismos de QoS, que ajudam a diferenciar e priorizar os pacotes de voz dos demais pacotes presentes em uma rede IP. Tais mecanismos de QoS, com foco nos utilizados nesta pesquisa, serão apresentados no capítulo 4 a seguir.

4 QUALIDADE DE SERVIÇO (QOS)

Com base nos conceitos apresentados nos capítulos 2 e 3, este capítulo apresenta uma descrição da operação dos protocolos, algoritmos e mecanismos de QoS para as redes baseadas no protocolo IP. Também será descrito os efeitos de QoS em quatro características de tráfego: largura de banda, atraso, variação do atraso (*jitter*) e perda de pacote. É abordado ainda o gerenciamento dos diversos tipos de tráfego em redes IP com o intuito de identificar os recursos compartilhados críticos e os processos chave que devem estar operacionais para controlar tais recursos. As informações apresentadas baseiam-se, se não explicitamente citado, nos autores ODOM e CAVANAUGH (2005) e VEGESNA (2001).

Conforme mencionado no Capítulo 1, existe atualmente uma grande tendência em direção à convergência de todas as redes em uma única rede IP baseada em pacotes. Em redes de comunicação, QoS descreve uma gama de conceitos e ferramentas que podem ser usadas para definir como um pacote IP será utilizado para disponibilizar um serviço. Portanto, QoS pode ser definido como a habilidade de uma rede em fornecer serviços diferenciados a um conjunto de usuários/aplicações em detrimento de outros usuários/aplicações.

O tráfego de voz pode degradar rapidamente em redes IP com altas taxas de utilização, principalmente de largura de banda. Como largura de banda é uma característica de redes IP altamente disputada, sem QoS o ouvinte terá uma chamada de baixa qualidade, pois existirá a possibilidade dos dois participantes da chamada falarem ao mesmo tempo porque terão a impressão de que a outra ponta não ouviu tudo que foi dito. Nesse caso a voz é perdida, com um vazio no som ouvido, e a chamada pode até ser desconectada. Nessas situações ferramentas de QoS podem oferecer tratamentos diferenciados para a voz e para sua sinalização.

Em uma rede, pacotes são geralmente diferenciados através dos cinco campos de fluxo no cabeçalho do pacote IP: endereço IP de origem, endereço IP de destino, campo do protocolo IP, porta de origem e porta de destino. Para suportar tráfego de voz, vídeo e aplicações de dados com vários tipos de requisitos de serviço, o core da rede IP precisa diferenciar e servir os diferentes tipos de tráfego baseado em suas necessidades. Com os

serviços de melhor esforço, característicos em redes IP, nenhuma diferenciação é possível entre os milhares de fluxos de tráfego existente no core da rede IP. Portanto, nenhuma prioridade ou garantia é fornecida para qualquer aplicação de tráfego. Isto essencialmente exclui da rede IP a capacidade de carregar tráfego que exija algum tipo de garantia de recurso de rede e de serviço. Qualidade de serviço (QoS) surgiu para resolver essa questão das redes de melhor esforço oferecendo um conjunto de requisitos de serviço a serem honrados pela rede IP no transporte de um pacote IP.

A estrutura de gerenciamento/arquitetura de QoS inclui IntServ/RSVP e DiffServ, que serão detalhados na seção 4.1.

4.1 ARQUITETURA DE QoS

Existem dois tipos de arquitetura de QoS, sendo a arquitetura mais comum entre os provedores de serviço, a arquitetura DiffServ, descrita a seguir.

4.1.1 Arquitetura DiffServ

A arquitetura DiffServ é a tecnologia preferida para implementações de QoS em larga escala, como em redes de provedores de serviço (FILSFILS; EVANS, 2002). O tráfego é classificado nos roteadores *edge* (“entradas” para a rede IP) e marcados, usando o DSCP (*DiffServ Code Point*), em um número limitado de classes de tráfego. A classificação e marcação dos pacotes, utilizando DSCP, são baseadas em SLA (MASE, 2004). Tais SLAs são, por sua vez, baseados em atraso, *jitter*, taxa de perda de pacote, vazão e disponibilidade (FILSFILS; EVANS, 2002).

O grupo de DiffServ do IETF está no processo de padronização da marcação de 6 dos 8 bits do campo *Type of Service* (ToS), no cabeçalho IP, como DSCP. De acordo com a RFC 2474, DSCP é uma extensão dos 3 bits usados por precedência IP. A Figura 4-1 demonstra o byte ToS, que se tornará o byte DS (Figura 4-2) após a padronização.

P2	P1	P0	T3	T2	T1	T0	CU
----	----	----	----	----	----	----	----

Precedência IP: 3 bits (P2-P0)
 Tipo de Serviço (ToS): 4 bits (T3-T0)
 Não utilizado (CU): 1 bit

Figura 4-1: Bytes ToS

Fonte: RFC 1349

0	1	2	3	4	5	6	7
DS5	DS4	DS3	DS2	DS1	DS0	CU	CU

DSCP: 6 bits (DS5 - DS0)
 Não utilizado (CU): 2 bits

Figura 4-2: Bytes DS

Fonte: RFC 2474

No *core* da rede, mecanismos de controle de agendamento e enfileiramento são aplicados nas classes baseado na marcação do campo DS; toda classificação e descarte de tráfego é tratado na camada de rede usando mecanismos de qualidade de controle DiffServ.

Conjunto de Blocos da Arquitetura DiffServ

A abordagem DiffServ em oferecer QoS em redes IP utiliza um pequeno e bem definido conjunto de blocos de construção do qual pode-se construir uma gama de serviços. Um modelo generalizado da operação de QoS está demonstrado na Figura 4-3 e será detalhado nas páginas a seguir.

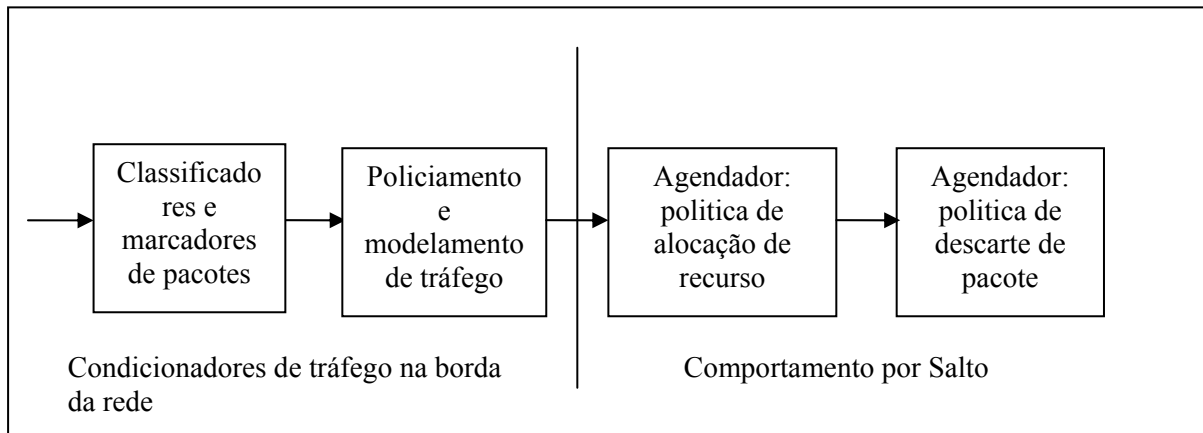


Figura 4-3: Modelo generalizado da operação de QoS

Fonte: VEGESNA (2001)

Condicionadores de tráfego na borda da rede

Condicionadores de tráfego são funções de QoS necessárias na borda da rede. As funções da borda classificam ou marcam o tráfego fixando o campo DSCP e monitorando o tráfego entrante na rede para conformidade com o perfil estipulado. A marca de um pacote é carregada dentro do campo DS (RFC 3260) no cabeçalho do pacote IPv4 ou IPv6.

Seis bits do campo DS são usados como pontos de código - *codepoint* (DSCP) - para seleccionar o tipo de *Per Hop Behaviour* (PHB) que um pacote irá encontrar em cada nó do trajeto. A RFC 2474 recomenda que o DSCP padrão seja formado pelos bits 000 000.

O Grupo de trabalho do IETF define os DSCPs Seleccionadores de Classes (compatíveis com os 3 bits de precedência IP), listados na Tabela 4-1.

Tabela 4-1: DSCPs

Fonte: RFC 1349

SELECIONADORES DE CLASSE	DSCP
Precedência 1	001 000
Precedência 2	010 000
Precedência 3	011 000
Precedência 4	100 000
Precedência 5	101 000
Precedência 6	110 000
Precedência 7	111 000

Além de classificar e marcar, as funções da borda medem o tráfego com o intuito de modelar ou de descartar pacotes IP. A seguir um breve relato de cada uma das funções.

- Classificador: o classificador seleciona um pacote baseado no conteúdo de alguma parte do cabeçalho. A forma mais comum de classificar tráfego é pelo campo DSCP, mas também é possível classificar o tráfego baseado em outros campos do cabeçalho;
- Marcador: esta função ajuda a escrever/re-escrever o campo DSCP no pacote baseado na classe de tráfego;
- Medidor: a função de medidor verifica a conformidade ao perfil de tráfego, baseado em um descritivo do tráfego como *token bucket*, e passa o resultado para o marcador ou para o modelador ou para o descartador, para iniciar uma ação nos pacotes dentro ou fora do padrão;
- Modelador: a função de modelador atrasa o tráfego através do armazenamento de alguns pacotes para que fiquem de acordo com o perfil estabelecido previamente;
- Descartador: a função de descartador descarta todo o tráfego que não está de acordo com o perfil de tráfego.

Comportamento por Salto – PHB (*Per Hop Behaviour*)

É possível definir o comportamento por salto em termos da prioridade do recurso comparado com demais PHBs ou a alguma característica de serviço de tráfego, como atraso de pacotes, perda ou *jitter*. Em uma rede DiffServ, comportamento de melhor esforço pode ser visualizado como PHB padrão. DiffServ recomenda valores específicos de DSCP para cada PHB, mas um provedor de rede pode escolher usar um valor diferente de DSCP. Existem dois tipos padronizados de PHB: *Expedited Forwarding* (EF) e *Assured Forwarding* (AF).

- PHB EF

PHB EF é usado para fornecer um serviço fim-a-fim com largura de banda assegurada, baixo *jitter*, perdas e latência. Aplicações de voz e vídeo utilizam o PHB EF. O PHB EF define serviços de melhor qualidade e está detalhado na RFC 3246. Para o PHB EF, fica garantido que a classe de tráfego receberá largura de banda suficiente de modo que a taxa

de saída de tráfego seja igual ou maior do que a taxa mínima configurada (KUROSE; ROSS, 2006). O DSCP recomendado é o 101110.

Conforme citado no capítulo 3, o principal contribuinte para altas taxas de atraso de pacote e de *jitter* são atrasos causados por enormes filas. Tais filas são comuns em pontos congestionados da rede. Congestionamento na rede ocorre quando o taxa de chegada dos pacotes excede a taxa de saída. É possível eliminar atrasos de filas se a taxa máxima de chegada de pacotes for menor que a taxa mínima de saída dos pacotes. Uma vez que o serviço EF fixa a taxa de saída, é possível controlar o taxa de chegada do tráfego no nó usando condicionadores de tráfego apropriados na borda da rede.

Um PHB EF precisa certificar que o tráfego não presenciara filas e, portanto precisa ser configurada uma taxa de saída para o tráfego que seja igual ou menor a taxa de chegada dos pacotes. A taxa de saída ou largura de banda deve ser independente de qualquer outro tráfego.

Um roteador pode alocar recursos para uma determinada taxa de saída em uma interface usando implementações de funcionalidades EF. Técnicas de agendamento de pacotes – enfileiramento - como *Class Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ)*, *Weighted Round Robin (WRR)* e *Deficit Round Robin (DRR)* fornecem tal funcionalidade.

- PHB AF

O PHB AF divide o tráfego em quatro classes e garante a cada classe o fornecimento de alguma quantidade mínima de largura de banda e de *buffer* (KUROSE; ROSS, 2006). Dentro de cada classe os pacotes ainda são repartidos em uma de três categorias de descarte preferencial. Quando ocorre um congestionamento dentro de uma classe AF, um roteador pode então descartar pacotes com base em seus valores de descarte preferencial. A RFC 2597 pode fornecer mais detalhes. A Tabela 4-2 demonstra a precedência de descarte associada a cada classe do PHB AF.

Tabela 4-2: PHB AF

Fonte: VEGESNA (2001)

PRECEDÊNCIA DE DESCARTE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
BAIXO	001010	010010	011010	100010
MÉDIO	001100	010100	011100	100100
ALTO	001110	010110	011110	100110

Após a apresentação dos blocos funcionais da arquitetura DiffServ, suas características podem ser resumidas conforme Tabela 4-3.

Tabela 4-3: Blocos Funcionais da Arquitetura DiffServ

Fonte: VEGESNA (2001)

BLOCOS FUNCIONAIS	LOCALIZAÇÃO	FUNÇÕES HABILITADAS	AÇÕES
Condicionadores de Tráfego	Tipicamente, na interface de entrada do roteador de borda	Classificação de pacote, modelamento de tráfego e policiamento	Polícia o tráfego entrante e configura o campo DSCP baseado no perfil do tráfego
PHB	Todos os roteadores no domínio DiffServ	Alocação de recursos Políticas de descarte de pacotes	PHB aplicado aos pacotes baseado nas características de serviço definidas pelo DSCP

Considerações sobre a implementação de *backbones* DiffServ

Projetar um *backbone* IP com baixas taxas de perda, atraso e *jitter* pode ser relativamente simples, desde que seja oferecido o dobro da banda realmente demandada. Porém, esta tática não é factível, já que é a opção mais cara para o provedor de serviço de telecomunicações. A seguir serão expostos itens relevantes sobre a implementação da arquitetura DiffServ, todos baseados nos autores FILSFILS e EVANS, (2002).

- Benefícios econômicos: são destacados se o tráfego que necessita dos SLAs mais rígidos representam uma pequena parcela da capacidade total. Se todas as classes necessitam do mesmo nível de serviço e da mesma proporção de *overbooking* não haverá ganho na implementação de DiffServ;
- Comportamento dos roteadores: se o comportamento de expedição do Diffserv EF/AF impactar na performance de expedição de pacotes do roteador, sua capacidade de vazão será menor e, conseqüentemente, maior será o custo por porta

da implantação da rede. Atualmente os roteadores implementam o comportamento de expedição EF/AF em ASICs, assegurando que não haverá penalidade associada com o suporte a funcionalidade de DiffServ;

- Implantação simples: a alteração na configuração dos roteadores é relativamente pequena e simples. Uma implementação típica de DiffServ consiste na definição de três filas: uma fila da classe EF para tráfego em tempo real, como VoIP e duas filas da classe AF, uma para a classe de dados de negócios e outra para a classe de melhor esforço. O tráfego da classe de tempo real possui um tratamento de enfileiramento com prioridade, e a carga esperada para esta classe é abaixo de 25 por cento da capacidade total do link disponível. Noventa por cento da banda restante é alocada para a classe de dados de negócio e os outros dez por cento para a classe de melhor esforço;
- Alterações nos sistemas de gerência (NMS/OSS): *network management systems* (NMS) e *operational support systems* (OSS) geralmente precisam ser aprimorados para suportar a implantação de DiffServ:
 - O sistema NMS precisa ser aprimorado para coletar bytes/pacotes transmitidos e descartados por classe ao invés de por interface;
 - A implantação de um sistema de sondagem de SLA é recomendado para monitorar atraso e jitter.

4.1.2 Arquitetura IntServ (*Integrated Services*)

Na arquitetura IntServ, um protocolo de sinalização, o *Resource Reservation Protocol* (RSVP), é usado para reservar recursos nos roteadores presentes no trajeto para garantir QoS para uma nova chamada (MASE, 2004). Tais parâmetros são mantidos em cada roteador e usados para calcular a largura de banda total necessária, que é comparada com a capacidade do enlace no controle de admissão. Se os recursos não estiverem disponíveis em um roteador a chamada é rejeitada. Na arquitetura IntServ cada roteador precisa manter informação sobre o status de cada chamada em andamento, o que representa um desafio de escalabilidade. Por esse motivo IntServ é recomendado para uso em redes pequenas e não em redes grandes, como um *backbone*.

4.2 EFEITOS DE QoS NAS CARACTERÍSTICAS DE TRÁFEGO

QoS pode afetar quatro características de tráfego: largura de banda, atraso, variação do atraso (*jitter*) e perda de pacote e, segundo YANG e CHOU (2003), tais características são medidas comuns usadas para caracterizar o desempenho de uma conexão em uma rede IP.

A seguir serão detalhadas alguma das ferramentas de QoS utilizadas para amenizar os efeitos negativos destas características de tráfego nos serviços de voz.

Largura de Banda

A melhor ferramenta de QoS para problemas de largura de banda é, logicamente, o aumento dessa largura de banda. No entanto, como essa opção é remota, ferramentas de QoS como compressão, controle de admissão de chamada (CAC) e ferramentas de enfileiramento (Tabela 4-4) são utilizadas para priorizar os pacotes de voz.

Tabela 4-4: Ferramenta de QoS aplicadas em questões relacionadas a largura de banda

Fonte: ODOM e CAVANAUGH (2005)

TIPO DE FERRAMENTA DE QOS	EFEITOS NA LARGURA DE BANDA
Compressão	Comprime ou o cabeçalho ou a carga útil (<i>payload</i>), reduzindo o número de bits necessários para transmitir os dados
CAC	Reduz a carga introduzida na rede através do descarte de novos pacotes de voz
Enfileiramento	Pode ser utilizado para reservar uma quantidade mínima de largura de banda para determinados tipos de pacotes

Nesta dissertação foi utilizada a ferramenta de enfileiramento.

Atraso

Todos os pacotes em uma rede sofrem atrasos entre o momento de envio do pacote e sua recepção no destino. Existem algumas ferramentas de QoS, descritas a seguir, que tentam amenizar os efeitos negativos dos diversos tipos de atraso.

- Enfileiramento (Agendamento)

Enfileiramento é a ferramenta de QoS mais conhecida e envolve a escolha de pacotes que serão enviados com base em outras características além do tempo de chegada. Ou seja, ao invés de realizar enfileiramento FIFO (*First-In-First-Out*) com apenas uma fila, outros mecanismos de enfileiramento criam múltiplas filas, dividem os pacotes entre essas filas e os enviam, escolhendo aleatoriamente um pacote de cada fila. Apesar de enfileiramento não diminuir o atraso médio da população de pacotes, pode reduzir o atraso dos pacotes sensíveis a atraso e aumentar o atraso para pacotes insensíveis ao atraso. Vale ressaltar ainda que, ao contrário do aumento da largura de banda, o enfileiramento em roteadores não gera custos.

- Fragmentação de Enlace e *Interleaving* (LFI)

Por *default*, um roteador envia pacotes separadamente, um de cada vez. Essa característica prejudica um pacote sensível a atraso, uma vez que o mesmo precisa aguardar o término do processo de envio de um pacote já em andamento. Se o pacote enviado for muito longo, o pacote sensível a atraso deverá esperar um tempo demasiadamente longo, o que poderá prejudicar as informações incluídas no pacote.

Com fragmentação de enlace e intercalação, um pacote pode ser dividido em partes menores e o envio de um segundo pacote pode ser intercalado entre as partes do pacote de tamanho maior. Com isso o tempo de espera de um pacote sensível a atraso será reduzido e as conseqüências da espera serão minoradas.

- Compactação

Compactação atua em um pacote ou no cabeçalho de um pacote, compactando os dados para que os mesmos utilizem menos bits e reduzindo o atraso serial. Por outro lado, o atraso fim-a-fim também pode sofrer aumento, já que será necessário compactar e descompactar os pacotes.

- Modelagem de tráfego

A modelagem de tráfego na verdade aumenta o atraso no esforço de reduzir a perda de pacotes e é mencionada devido ao impacto negativo no atraso.

Jitter

Como não é possível ampliar largura de banda devido aos altos custos, várias ferramentas de QoS ajudam a amenizar os efeitos de *jitter* e são as mesmas que amenizam os efeitos de atrasos (Tabela 4-5).

Tabela 4-5: Ferramentas de QoS que amenizam os efeitos do atraso e do jitter

Fonte: ODOM e CAVANAUGH (2005)

TIPO DE FERRAMENTA DE QOS	EFEITOS SOBRE O JITTER
Enfileiramento	Ordenação de pacotes para que os mais sensíveis sejam os mais rápidos a saírem da fila
Fragmentação do Enlace e intercalação	LFI quebra os pacotes em pedaços menores antes de enviá-los ao destino. Pacotes menores e mais sensíveis ao atraso podem ser enviados após o envio de um fragmento de um dos grandes pacotes, ao invés de ter que esperar pelo envio completo do pacote grande
Compactação	Compacta ou o payload ou o cabeçalho, reduzindo o número geral de bits necessários para transmitir os dados. Através da redução da necessidade de largura de banda as filas diminuem e o atraso também. Entretanto, compactação acrescenta atraso de processamento
Modelagem de tráfego	Aumenta artificialmente o atraso para reduzir perdas em uma rede

Perda de Pacotes

Roteadores perdem/descartam pacotes por vários motivos como, por exemplo, devido a quadros que não passam no *Frame Check Sequence* (FCS) e que são descartados. A perda de pacotes devido ao FCS não pode ser amenizada por ferramentas de QoS. Por outro lado, as ferramentas de QoS podem ser utilizadas para minimizar a perda de pacotes recorrentes de filas cheias. Tais ferramentas são descritas a seguir.

- Acréscimo de banda

Apesar do acréscimo de banda ajudar a minimizar a perda de pacotes, não solucionará todos os problemas recorrentes de perda de pacotes. Entretanto, um aumento de banda permitirá a transmissão mais rápida de pacotes, reduzirá o tamanho das filas e evitará o *tail drop*, ou seja, um roteador não descartará um pacote que iria para o fim da fila de espera.

- *Random Early Detection (RED)*

RED é outra forma de reduzir o impacto da perda de pacotes. O protocolo TCP trabalha com o conceito de janelas, que restringe a quantidade de dados que um transmissor envia sem receber um aviso de recebimento (*acknowledgment*) do receptor. Cada janela TCP, para cada conexão TCP, aumenta e diminui sob influência de vários fatores. RED assume que se algumas conexões TCP podem diminuir suas janelas antes que filas de saída encham, o número coletivo de pacotes enviados será menor e assim a fila não encherá. Enquanto as filas não estão enchendo muito, RED não avisa aos transmissores TCP para diminuir a taxa de envio, uma vez que não há necessidade de diminuir o ritmo. Se RED perceber que as filas estão enchendo, o mesmo descarta alguns pacotes. Como grande parte do tráfego é TCP e já que TCP diminui a taxa de envio após a perda de um pacote, RED reduz a carga de pacotes entrando na rede antes que as filas encham.

- Aumento do comprimento da fila

Devido ao fato de métodos de enfileiramento possibilitarem a configuração do tamanho máximo da fila, é possível configurar um aumento do comprimento da fila e reduzir as perdas de pacotes. Por outro lado, esta alteração do comprimento da fila aumentará o atraso de enfileiramento.

4.3 GERENCIAMENTO DOS DIVERSOS TIPOS DE TRÁFEGO EM REDES IP

Gerenciamento de tráfego é um importante item no estudo em análise já que a rede não trafega exclusivamente fluxos de voz. Os pacotes carregam os mais variados tipos de informação no *payload*, alguns com maiores exigências que outros. As informações relacionadas a seguir possuem como referência o livro do autor BLACK (1999).

O gerenciamento de tráfego foca no regulamento e no controle dos recursos da rede usado para prover comunicação. Como são compartilhados, acesso e uso dos recursos podem ser regulados e gerenciados para garantir entrega, mesmo usando a rede IP, uma rede com características de entrega de melhor esforço.

Para entender gerenciamento de tráfego é necessário identificar os recursos compartilhados críticos e os processos chave que devem estar operacionais para controlar tais recursos. Os dispositivos da rede como *buffer* e largura de banda são recursos críticos; já enfileiramento, *shaping* e *policing* são processos chave

Gerenciamento de Largura de Banda e Filas

Uma rede que interconecta diversos roteadores recebe dados de várias interfaces de entrada e, baseado no endereço IP de destino, envia os dados para uma interface de saída. Se a interface de saída estiver ocupada, os dados devem ser temporariamente armazenados.

O número de armazéns temporários (*buffers*) em uma rede IP é finito. Quando o *buffer* de um dispositivo de rede esgota, o mesmo irá descartar pacotes (ou quadros da camada 2). Para garantir QoS, os buffers devem ser previamente alocados e reservados para uso por um determinado processo de comunicação, detalhado a seguir.

Filas podem ser usadas para ajudar a classificar os pacotes e regular o uso da largura de banda. A necessidade de enfileiramento de vários pacotes ou quadros destinados a uma mesma interface de saída instigou o desenvolvimento de algumas técnicas de enfileiramento para regulação do fluxo. Algumas dessas técnicas serão discutidas a seguir, por ordem de sofisticação.

O uso de sofisticados enfileiramentos em switches é a base para *Class of Service* (CoS). CoS fornece serviços diferenciados baseados em atributos existentes no cabeçalho dos pacotes. Por exemplo, diferentes filas podem ser estabelecidas para tráfego HTTP e FTP, recebendo diferentes prioridades com relação a agendamento. A seguir serão detalhados os principais tipos de filas:

- FIFO: é o tipo de fila mais simples. Apesar de possuir fácil implementação, gera grandes atrasos para pacotes que se encontram no fim da fila, principalmente para pequenos pacotes atrás de grandes pacotes.
- *Fair Queuing* (FQ): este tipo de fila aloca múltiplas filas (uma para cada fluxo), servindo cada fila de uma maneira alternada. Cada fila tem tratamento igual,

resultando em desvantagem para pacotes pequenos, já que filas são esvaziadas por pacote e pacotes maiores levam um tempo maior para serem transmitidos.

- *Weighted Fair Queuing* (WFQ): como *fair queuing*, WFQ gerencia os fluxos nas filas individualmente. Entretanto, WFQ tem um algoritmo de agendamento sofisticado que permite que certos fluxos sejam agendados e transmitidos com maior frequência, fornecendo a tais filas maior largura de banda.
- *Class-Based Weighted Fair Queuing* (CBWFQ): é uma extensão do tipo de fila WFQ, com o intuito de oferecer suporte para classes de tráfego definidas pelo usuário. Nas filas CBWFQ, o usuário define as classes de tráfego baseado em critérios de comparação. O pacote que satisfizer o critério de comparação de uma classe constituirá o tráfego daquela classe. Uma fila FIFO é reservada para cada classe e o tráfego pertencente àquela classe será direcionado para a fila da classe. Depois que a fila atingir seu limite previamente estabelecido, enfileiramento de pacotes adicionais causará *tail drop* ou perda de pacotes e dependerá de como a política da classe foi configurada. *Tail drop* é usada em classes CBWFQ a não ser se explicitamente configurado para a classe usar *Weighted RED* (WRED) como método de descarte de pacotes e de precaução contra congestionamento.

5 SOFTWARE SP GURU NETWORK PLANNER

Para finalizar a etapa de revisão bibliográfica desta dissertação, este capítulo aborda o software de simulação de redes IP utilizado neste trabalho, o software SP Guru *Network Planner*, da OPNET, bem como as ferramentas disponíveis no software para importação do tráfego de voz (em *Erlangs*) e para configuração de QoS. As informações apresentadas neste capítulo baseiam-se em documentações fornecidas pela empresa OPNET, bem como em informações pessoais obtidas através de trocas de emails com o setor de suporte técnico do fabricante do software.

Com o software SP Guru *Network Planner*, da OPNET, é possível modelar redes de dados, incluindo roteadores, *switches*, *firewalls*, protocolos e demandas de tráfego. O SP Guru *Network Planner* é um software que permite aos provedores de serviço o gerenciamento de suas redes *multi-vendors*, implementações de novos serviços, aprimoramento do retorno dos recursos existentes e redução do risco operacional. Entre as principais funcionalidades do SP Guru está a de montar a rede a ser simulada através dos comandos extraídos dos equipamentos da rede, de conseguir receber a taxa de utilização dos enlaces existentes na rede, de viabilizar a importação de tráfego de voz em *Erlangs*, simular a classificação MOS para serviços VoIP, otimizar as configurações de QoS, entre outros. A versão do software utilizada neste trabalho foi a 14.0A PL3 (Build 6313 - 32bit).

Serão detalhadas a seguir as ferramentas do software SP Guru *Network Planner* utilizadas neste trabalho.

5.1 Ferramenta VoIP *Readiness Assessment*

O software SP Guru *Network Planner* possui uma ferramenta, o *VoIP Readiness Assessment*, conforme Figura 5-1, que pode ser utilizada para:

- i. Importar fluxos de Voz, em Erlangs, para a rede IP, em bps;
- ii. Definir as políticas de QoS;
- iii. Definir os possíveis aumentos de capacidade de enlaces que podem ser aplicadas no *backbone* IP de um provedor de serviço.

A ferramenta oferece diversas opções de configurações, desde a escolha do CODEC a ser utilizado durante a importação dos fluxos de voz até o tipo de relatório de dados (html, txt) a ser gerado. Neste trabalho a ferramenta *VoIP Readiness Assessment* foi utilizada para importar os fluxos de Voz, em Erlangs, para a rede IP, em bps.

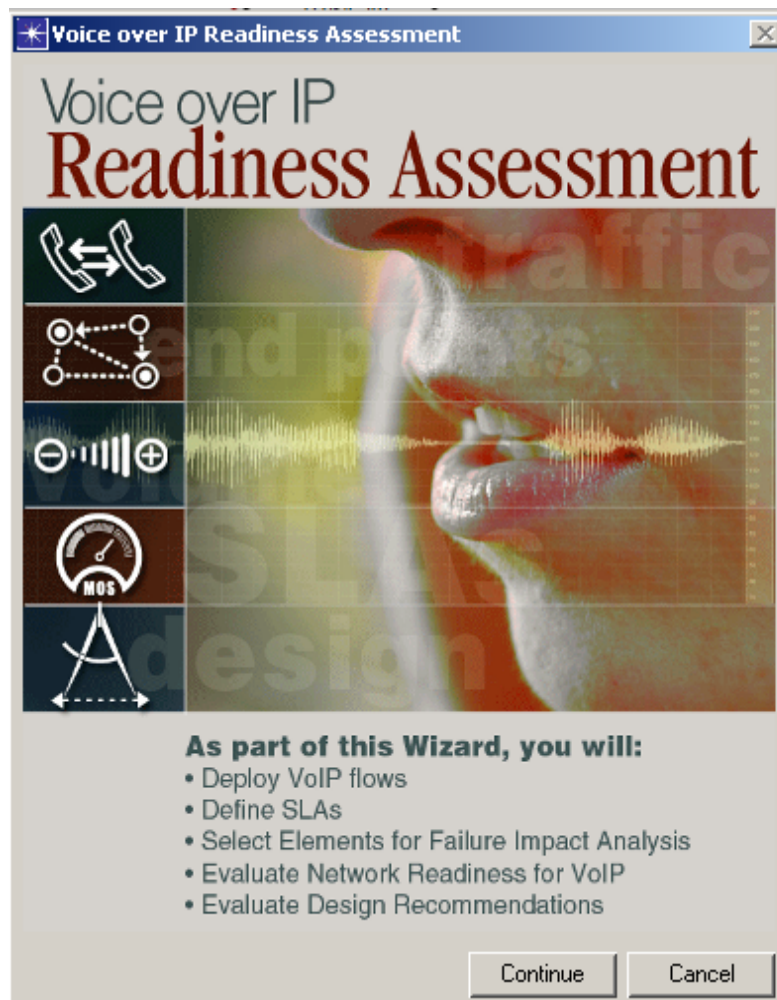


Figura 5-1: VoIP Readiness Assessment

Fonte: software SP GURU Network Planner

Para importar os fluxos de Voz, em *Erlangs*, para a rede IP, em bps utilizou-se o arquivo .tr3, conforme Figura 5-2. Tal arquivo será detalhado na seção 6.2.4. Nota-se que é possível também criar fluxos de voz manualmente.

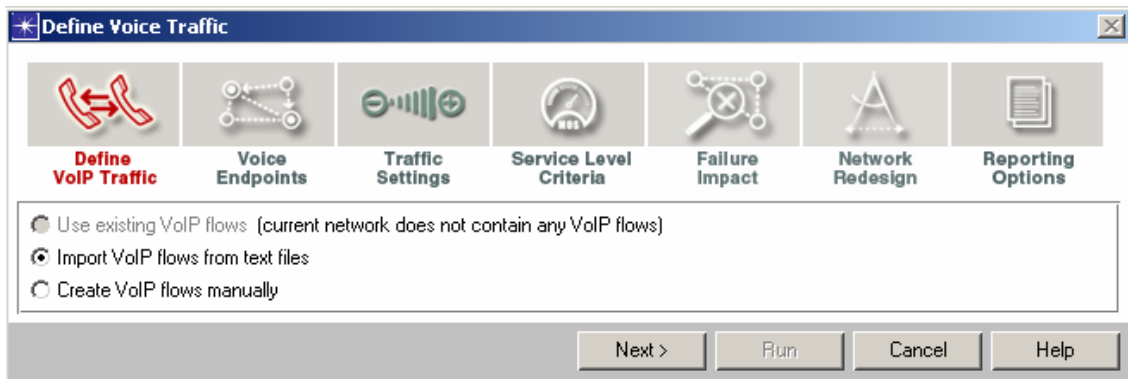


Figura 5-2: Importação do fluxo de voz
 Fonte: software SP GURU Network Planner

Ao optar por importar os fluxos de voz, a ferramenta oferece a opção de escolher o CODEC a ser utilizado, bem como o protocolo de cabeçalho, conforme demonstrado nas Figuras 5-3, 5-4 e 5-5. A Tabela 5-1 contém explicações mais detalhadas sobre as opções de configurações VoIP disponíveis durante a importação do tráfego.

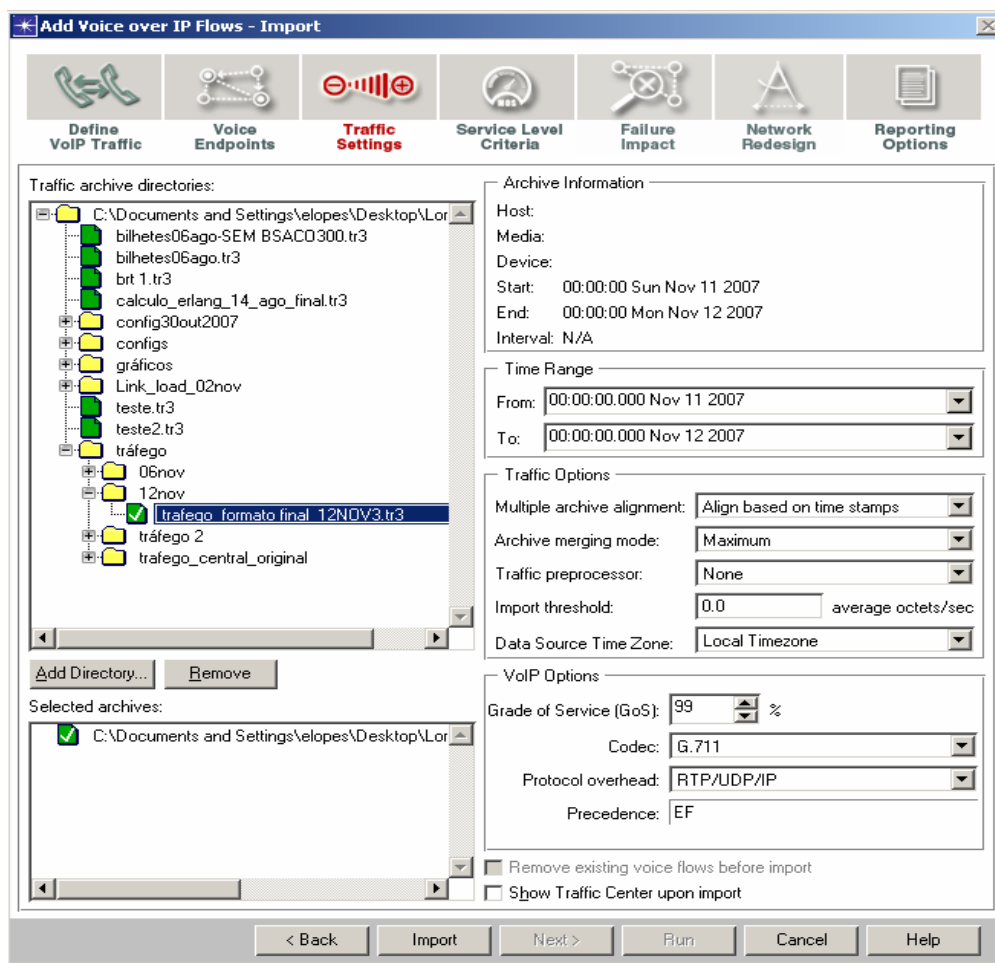


Figura 5-3: Opções para importar o fluxo de voz
 Fonte: software SP GURU Network Planner

G.711
 G.711 (silence)
 G.711 App.I
 G.711 App.I (silence)
 G.723.1 5.3K
 G.723.1 5.3K (silence)
 G.723.1 6.3K
 G.723.1 6.3K (silence)
 GSM FR
 GSM FR (silence)
 GSM EFR
 GSM EFR (silence)
 GSM HR
 GSM HR (silence)
 G.726 16K
 G.726 16K (silence)
 G.726 24K
 G.726 24K (silence)
 G.726 32K
 G.726 32K (silence)
 G.726 40K
 G.726 40K (silence)
 G.728 12.8K
 G.728 12.8K (silence)
 G.728 16K
 G.728 16K (silence)
 G.729 A
 G.729 A (silence)
 IS-641
 IS-641 (silence)

Figura 5-4: Opções de CODECs disponíveis

Fonte: software SP GURU Network Planner

RTP/UDP/IP
 UDP/IP
 RTP/UDP
 UDP only

Figura 5-5: Opções de protocolo de cabeçalho

Fonte: software SP GURU Network Planner

Tabela 5-1: Opções VoIP

Fonte: software SP GURU Network Planner

ELEMENTO	DESCRIÇÃO
Opções VoIP	- Grau de serviço (GOS – <i>Grade of Service</i>): Especifica as chances de uma chamada de voz completar sem ser bloqueada ou atrasada - CODEC: Especifica o tipo de CODEC que é usado no fluxo de voz. - Protocolos no cabeçalho: Especifica o tipo de cabeçalho que deve ser incluído no tráfego de voz. - Precedência: Especifica o tipo de serviço ou opção DSCP a ser aplicada no tráfego de voz

Com a presença de fluxos de voz na rede IP importada, torna-se possível a avaliação da qualidade das chamadas de voz e do tráfego de dados já existente.

Para importar os fluxos de voz, em *Erlangs*, para uma rede IP o software SP *Guru Network Planner* precisa realizar a conversão do tráfego em *Erlangs* para bits. A fórmula básica para conversão do tráfego em *Erlang* para tráfego em bps (*bits per second*) está descrita na equação 5-1.

$$\text{Banda_chamada (bps)} = \text{bw_of_one_line (bps)} * \text{lines_in_call} * \text{bw_of_one_line (bps)} = \text{taxa do CODEC (bps)} * (\text{bits_cabeçalho_protocolo/tamanho do quadro})$$

Equação 5-1

O número de linhas em uma chamada (*lines_in_call*) é computado utilizando a fórmula Erlang-B, sendo que o valor em *Erlang* e a probabilidade de bloqueio são dados de entrada e o número de linhas em uma chamada é o dado de saída. Os valores de conversão encontrados pelo software de simulação foram validados por meio da calculadora *Erlang* → (bits), disponível no site <http://www.erlang.com/calculator/eipb/>.

Devido a uma limitação do método de importação do tráfego em *Erlang* para *bits*, não é possível verificar com exatidão o número de chamadas de voz resultantes da importação do tráfego de voz da RTPC. O método utilizado para importar o tráfego em *Erlang* é voltado para a análise do impacto global da adição do tráfego de voz em uma rede IP e, devido a tal proposição, o volume de tráfego de voz é derivado como um fluxo de voz de um segmento LAN, ao invés de uma chamada telefônica propriamente dita.

O tráfego de voz importado através do arquivo .tr3 é composto, para o software SP GURU, por fluxos de tráfego fim-a-fim (com um endereço IP de origem e um de destino). À medida que a ferramenta *Flow Analysis* simula o comportamento da rede os fluxos de voz resultantes da importação do tráfego da RTPC são roteados, gerando estatísticas da performance dos fluxos e contribuindo com a utilização de cada enlace/fila que usam durante o trajeto. É importante destacar que os fluxos de voz possuem um tamanho de pacote baseado no CODEC utilizado uma vez que a informação do tamanho do pacote influencia nos atrasos de transmissão e *jitter*.

5.2 FERRAMENTA *FLOW ANALYSIS*

A ferramenta *Flow Analysis* analisa o comportamento da rede durante um horário de início e fim pré-estabelecidos e divididos em intervalos (informados pelo usuário). Para o estudo

em questão, a ferramenta *Flow Analysis* gerou vários relatórios baseados no intervalo em que a soma do tráfego em todos os enlaces atinge o ápice. As informações sobre a configuração do *Flow Analysis*, a mesma para todos os resultados obtidos, está demonstrada na Tabela 5-2.

Tabela 5-2: Configuração da ferramenta *Flow Analysis*

Fonte: software SP Guru Network Planner

HORÁRIO DE INÍCIO	11 Nov 2007 - 00:00:00.000
HORÁRIO DE TÉRMINO	12 Nov 2007 – 00:30:00.000
DURAÇÃO	0/1/0 00:30:00
TAMANHO DO INTERVALO	1800 segundos
NÚMERO DE INTERVALOS	49
NÚMERO DO INTERVALO EM ANÁLISE	31 (Pico do tráfego Total)
HORÁRIO DO INTERVALO EM ANÁLISE	11 Nov 2007 15:30:00.000
TRÁFEGO EM ANÁLISE	Fluxos de voz, carga de dados já existente nos enlaces

De acordo com a Tabela 5-2 observa-se que o dia e hora em que os resultados se baseiam é no período vespertino de um dia útil.

Antes de apresentar a próxima ferramenta do software SP GURU *Network Planner*, é necessário explicar o motivo da utilização de balanceamento por pacote nas simulações realizadas pela ferramenta *Flow Analysis*. Essa explanação será realizada a seguir e possui, como referência a homepage da empresa Cisco, uma vez que todos os roteadores utilizados na simulação são fabricados pela Cisco.

Configuração do Balanceamento da carga na rede IP

Balanceamento de carga é uma funcionalidade inerente a qualquer processo de roteamento, disponível em todas as plataformas de roteadores Cisco (todos os roteadores da rede IP em análise são roteadores Cisco) e é automaticamente ativado se a Tabela de roteamento possuir inúmeros caminhos para um determinado destino. Também deve-se ressaltar que o balanceamento de carga ou baseia-se nos protocolos de roteamento, como *Open Shortest Path First* (OSPF) ou é derivado a partir das rotas estáticas e dos mecanismos de encaminhamento de pacotes. O balanceamento de carga permite a um roteador utilizar múltiplos caminhos até o destino durante o encaminhamento de pacotes.

Quando o roteador aprende diversas rotas para uma determinada rede através de múltiplos processos/protocolos de roteamento, o mesmo instala a rota com a menor distância administrativa na Tabela de roteamento.

Se o roteador receber e instalar várias rotas para certo destino, com a mesma distância administrativa e custo, pode ser necessário recorrer ao balanceamento de carga. O número de caminhos usado é limitado pelo número de rotas existentes na Tabela de roteamento.

Existem dois tipos de balanceamento de carga: por destino e por pacote. Em balanceamento de carga por destino o roteador distribui os pacotes baseados no endereço IP de destino. Os pacotes para um determinado par de dispositivos origem-destino recebem a garantia de sempre utilizar o mesmo percurso, mesmo outros percursos estiverem disponíveis. Por exemplo, se existem dois caminhos distintos para uma mesma rede, todos os pacotes para o endereço de destino 1 pertencente a esta rede utilizarão o percurso 1, todos os pacotes para o endereço de destino 2 pertencente a esta rede utilizarão o percurso 2 e assim sucessivamente.

Balanceamento de carga por pacote envia sucessivos pacotes de dados sem se importar com os endereços de destino ou sessões de usuários. Tal tipo de balanceamento usa o método *round-robin* para determinar qual caminho cada pacote deve utilizar para alcançar seu destino. Com balanceamento de carga por pacote, o roteador envia o primeiro pacote para o endereço de destino 1 utilizando o percurso 1, o segundo pacote para o mesmo endereço de destino 1 utilizando o percurso 2 e assim sucessivamente.

Para entender o funcionamento do balanceamento de carga no software SP Guru versão 14.0A PL3 (Build 6313 32-bit), suponha a existência de uma rede que utiliza o protocolo OSPF e balanceamento de carga por destino, conforme Figura 5-6.

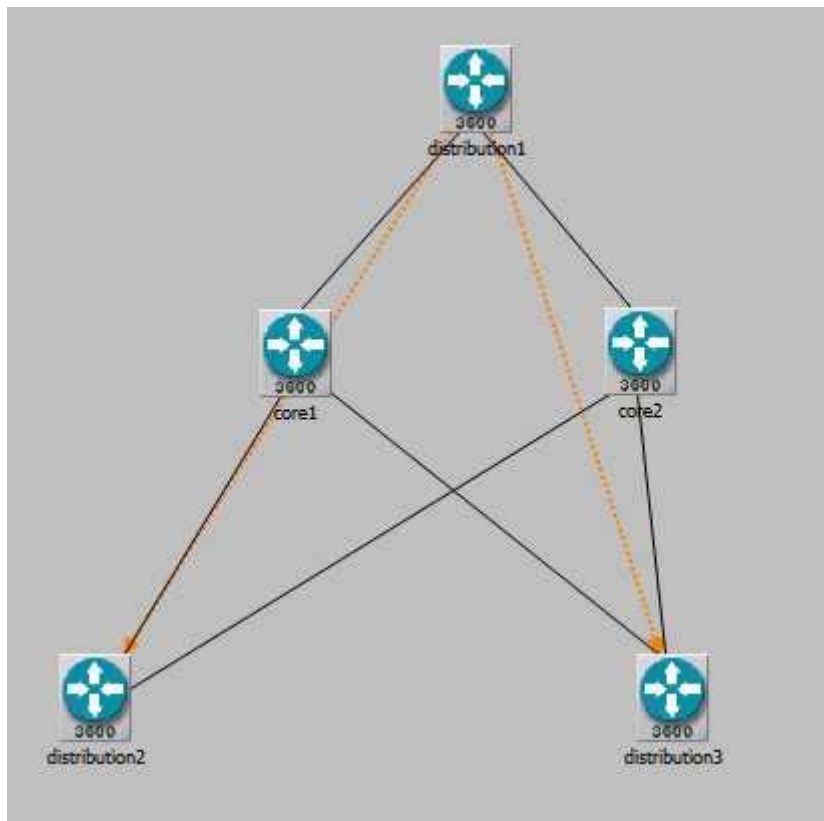


Figura 5-6: Rede utilizando protocolo OSPF e balanceamento de carga por destino

Fonte: software SP Guru Network Planner

Suponha ainda que 2 fluxos de voz existam na rede, importados para o software através do arquivo .tr3. Cada um dos dois fluxos de voz representa uma agregação de vários fluxos pequenos, sempre com a mesma origem e destino.

As rotas esperadas, por onde os dois fluxos poderão ser encaminhados, estão exemplificadas na Figura 5-7.

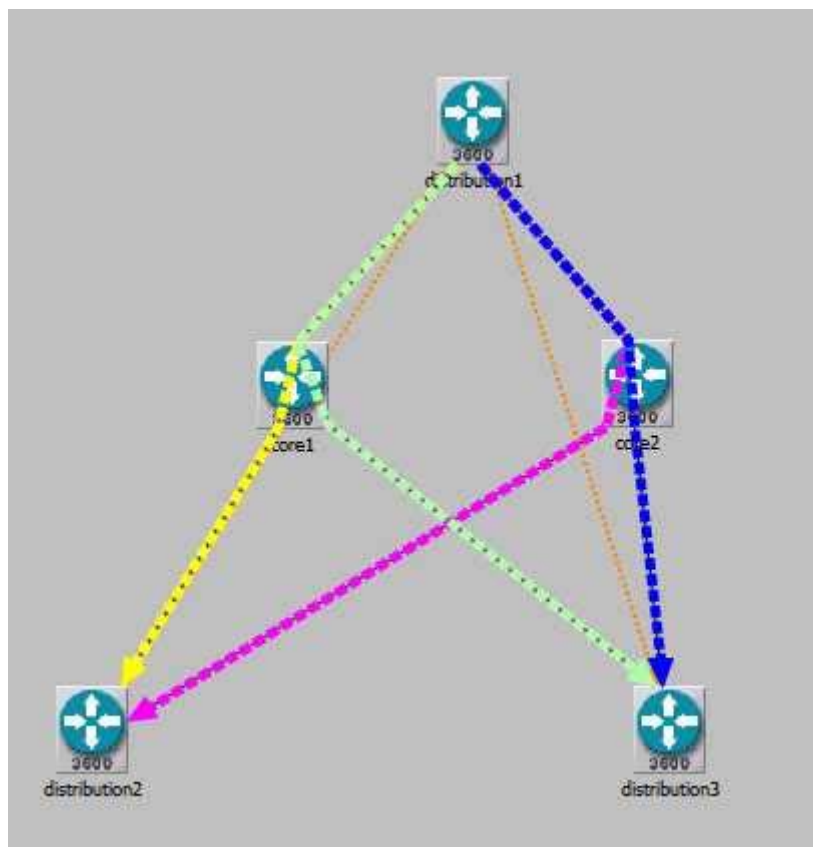


Figura 5-7: Encaminhamento dos Fluxos
 Fonte: software SP Guru Network Planner

O tráfego apresentado na Figura 5-7 é dividido entre os dois caminhos de custos iguais. Se, no software SP Guru, o atributo de balanceamento de carga de um roteador for configurado para balanceamento por destino, um determinado fluxo sempre será considerado um fluxo micro. Isto significa que o software não reconhece que tal fluxo é uma agregação de diversos fluxos com mesma origem e destino. Sem o reconhecimento da agregação dos fluxos, o comportamento do balanceamento de carga será como demonstrado na Figura 5-8.

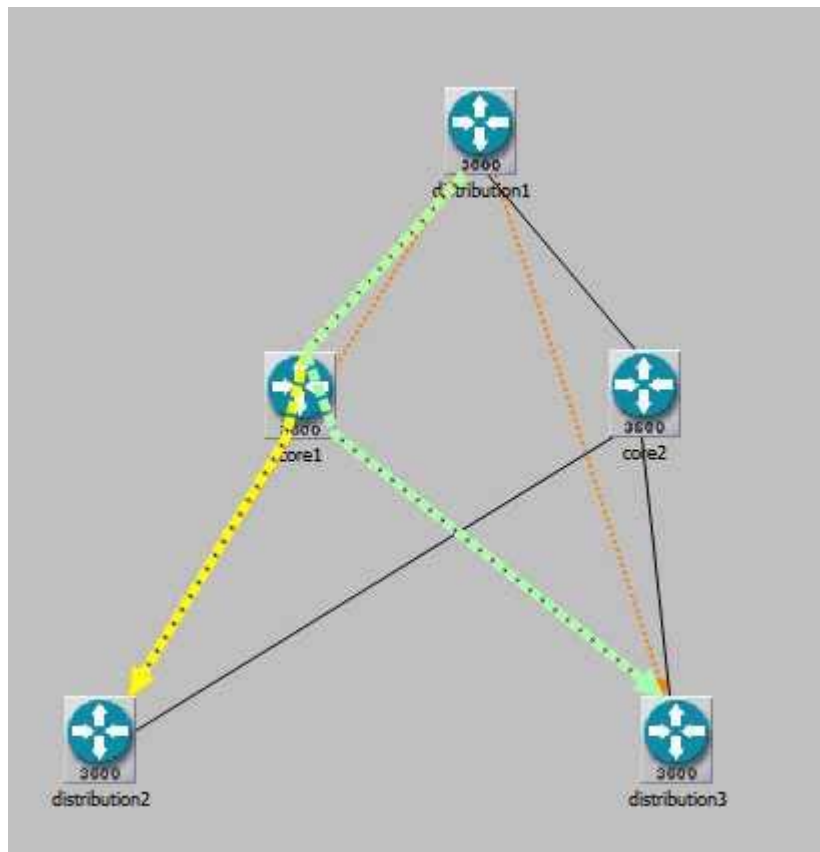


Figura 5-8: Balanceamento de carga sem reconhecimento da agregação dos fluxos
 Fonte: software SP Guru Network Planner

Na Figura 5-8 pode-se observar que o fluxo de voz sempre utiliza a mesma interface de *uplink* do roteador *distribution1*, deixando o segundo *uplink* do roteador *distribution1* (enlace com o roteador *core2*) inutilizado. Tal comportamento será revisado na versão 14.5 do software SP Guru conforme informado pelo suporte técnico do fabricante do software, OPNET.

Para contornar tal comportamento modela-se, através de um ponto de vista analítico, um fluxo de voz agregado que cruza por roteadores com balanceamento de carga por destino mudando o atributo de balanceamento de carga dos roteadores para se basear em pacotes. Esta abordagem é válida devido à agregação do tráfego. Suponha que os 2 fluxos de voz iniciais da Figura 5-6 representem uma agregação dos fluxos de voz mostrados na Figura 5-9.

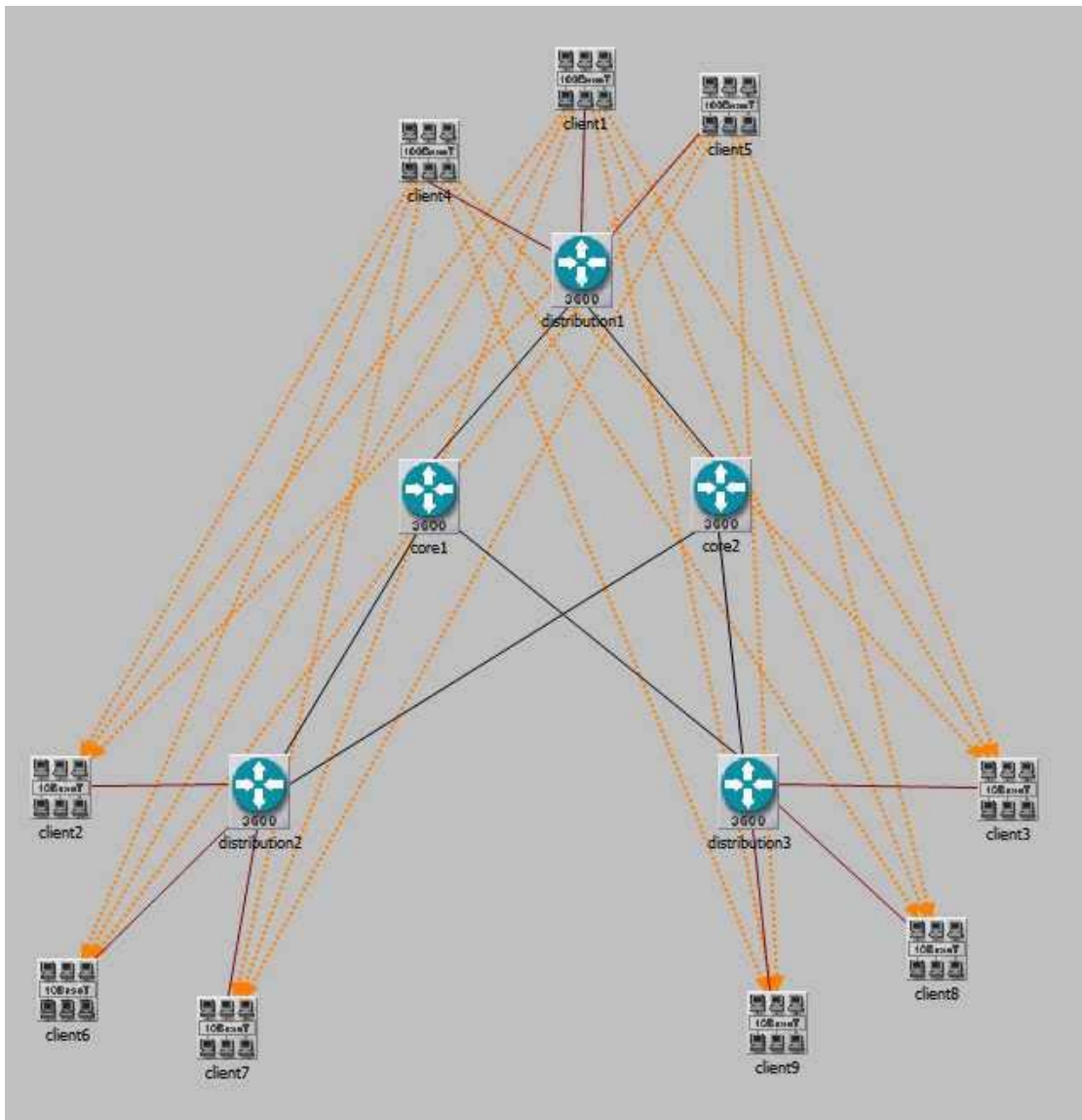


Figura 5-9: Fluxos de voz

Fonte: software SP Guru Network Planner

Na simulação em análise o tráfego de voz é representado a nível dos roteadores de distribuição/acesso. Cada um desses fluxos representa milhares de chamadas. Portanto, estatisticamente, não importa se o balanceamento da carga será realizado por pacote ou por destino. Ambos os tipos de balanceamento convergirão para o mesmo resultado: a igual divisão de carga entre os dois *uplinks*.

Resumindo, o que a ferramenta *Flow Analysis* do software SP GURU faz quando reconhece o atributo de balanceamento de carga por pacote é dividir o tráfego daquele determinado fluxo agregado entre os *uplinks* do roteador.

Sabe-se que uma das desvantagens do balanceamento de carga por pacote é o fato de que os pacotes com mesma origem-destino podem passar por diferentes enlaces e sofrer alteração na seqüência de entrega dos pacotes, exigindo assim a re-ordenação dos pacotes no destino final. Isso pode causar atraso. Entretanto, como o software SP Guru na versão utilizada nesse estudo agrega os micro fluxos com mesma origem-destino em um macro fluxo, os pacotes não terão que ser re-ordenados no destino, pois o macro fluxo mantém a ordem dos micro fluxos.

5.3 FERRAMENTA *DESIGN ACTION*

O software SP GURU possui a ferramenta *Design Action*, que automatiza o processo de modificação de um modelo de rede, geralmente para atingir um determinado objetivo. Uma das opções da ferramenta *Design Action* é a de Configuração de QoS para redes IP com tráfego de voz (VoIP). Esta opção será descrita a seguir.

IP_qos_conFiguration_voip

A opção *ip_qos_conFiguration_voip*, da ferramenta *Design Action*, é usada para automatizar a configuração dos parâmetros de QoS em roteadores, mas permitindo que o usuário do software defina um modelo de configuração que será aplicado aos nós e às interfaces da rede. A opção da ferramenta *Design Action* de Configuração de QoS para redes IP com tráfego de voz (VoIP) está parametrizada para criar um sistema de duas filas – *Expedited Forwarding* (EF) e *Best Effort* (BE). A classificação dos pacotes é baseada na marcação DSCP. Essa opção da ferramenta *Design Action* foi utilizada para configurar QoS nos roteadores da rede IP em análise.

A seguir serão descritas as filas que compõem as características das classes de tráfego (classificação dos pacotes – referenciadas nas definições de políticas de tráfego), das políticas de tráfego (que define políticas de QoS para unir os perfis de tráfego às classes de tráfego) e dos perfis baseados em classes. Vale ressaltar que uma classe *default* será configurada, onde todo o tráfego não classificado será direcionado para uma única fila FIFO e tratado como tráfego de melhor esforço.

A Tabela 5-3 apresenta as características mais relevantes para o estudo das duas filas:

Tabela 5-3: Valores de variação do atraso (jitter) (%) – rede IP sem QoS

FILA 0	
Nome	Fila_EF
Tipo de Largura de Banda – garantia de largura de banda mínima durante períodos de congestionamento	Relativa
Valor da Largura de Banda – percentual da largura de banda disponível reservada para a fila (deve acomodar o cabeçalho da camada 2)	30%
Prioridade – configuração de <i>Low Latency Queueing</i> (LLQ) para fornecer <i>Strict priority queueing</i> (PQ) para CBWFQ.	Habilitada
Limite da Fila (pacotes)	64
FILA 1	
Nome	Fila_BE
Tipo de Largura de Banda – garantia de largura de banda mínima durante períodos de congestionamento	Relativa
Valor da Largura de Banda – percentual da largura de banda disponível reservada para a fila (deve acomodar o cabeçalho da camada 2)	70%
Prioridade – configuração de LLQ para fornecer PQ para CBWFQ.	Desabilitada
Limite da Fila (pacotes)	64

Portanto, baseado nas informações da Tabela 5-3, cada interface de cada roteador do *backbone* IP em análise será configurado com duas filas:

- i. Fila 0, com prioridade, para os pacotes marcados com o DSCP EF, denominada fila EF, com 30% do total da largura de banda da interface do roteador;
- ii. Fila 1, de melhor esforço, para os pacotes não marcados com o DSCP EF, denominada fila BE, com 70% do total da largura de banda da interface do roteador.

IP_qos_queue_sizing_voip

Para revisar a configuração de QoS inicialmente aplicada na rede IP, foi utilizada a ferramenta *Design Action - Ip_qos_queue_sizing_voip* do software SP GURU. Esta *Design Action* é utilizada para mensurar a largura de banda de filas ou pesos em interfaces IP baseada na carga da fila e nas regras de configuração das filas. Já a ferramenta *Flow Analysis* é usada para computar a carga ofertada para cada fila, baseada no fluxo de tráfego. Dependendo do resultado obtido através da ferramenta *Flow Analysis* a *Design Action - Ip_qos_queue_sizing_voip* reajusta a largura de banda ou o peso de cada fila.

Um dos atributos da ferramenta *Design Action ip_qos_queue_sizing_voip* é o *Target Queue ConFfiguration*, que define os parâmetros que são utilizados para dimensionar cada fila. Antes de uma fila ser dimensionada, a mesma é comparada com uma regra. Os parâmetros definidos pelo atributo *Target Queue ConFfiguration* estão detalhados na Tabela 5-4. Qualquer interface do roteador com uma fila que extrapola os limites estabelecidos será redimensionada usando as informações do atributo *Target Queue ConFfiguration* e os resultados do *Flow Analysis*.

Tabela 5-4: Características do atributo *Target Queue ConFfiguration*

FILA 0	
Nome da classe de tráfego	<i>Priority</i>
Largura de Banda Alvo – percentual da largura de banda total da interface desejada para uma fila que for compatível com essa regra. É o ponto de partida para o novo valor de largura de banda para qualquer fila que precisa ser modificada.	25%
Utilização máxima da fila sob condições normais de operação (sem falha)	80%
Incremento da largura de banda – controla os possíveis valores de largura de banda dentro de um intervalo permitido	5%
Largura de banda mínima – percentual da largura de banda da interface	5%
Largura de banda máxima – percentual da largura de banda da interface	95%
FILA 1	
Nome da classe de tráfego	<i>Default</i>

Largura de Banda Alvo – percentual da largura de banda total da interface desejada para uma fila que for compatível com essa regra. É o ponto de partida para o novo valor de largura de banda para qualquer fila que precisa ser modificada.	5%
Utilização máxima da fila sob condições normais de operação (sem falha)	80%
Incremento da largura de banda – controla os possíveis valores de largura de banda dentro de um intervalo permitido	5%
Largura de banda mínima – percentual da largura de banda da interface	5%
Largura de banda máxima – percentual da largura de banda da interface	95%

O redimensionamento consta de várias fases. Não é possível aumentar o tamanho de uma fila sem diminuir o tamanho de uma ou mais filas. A lógica tenta encontrar um meio de retirar largura de banda de algumas filas e distribuir efetivamente a largura de banda entre as demais filas. A lógica de dimensionamento de cada fase é descrita a seguir, onde são utilizadas as seguintes variáveis:

- *Max_util* (onde 1,0 = 100%): máxima utilização desejada para a fila
- *Offered_bw* (bps): quantidade de carga ou fluxo oferecida para a fila
- *Util_req_bw* (bps): utilização baseada na largura de banda necessária = largura de banda oferecida / utilização máxima
- *Target_bw* (bps): largura de banda alvo para a fila, baseada nos parâmetros da Tabela do atributo *Target Queue ConFiguration*
- *Desired_bw* (bps): Máximo da *util_req_bw* e *target_bw*
- *Min_bw* (bps): largura de banda mínima da fila conFigurada na Tabela do atributo *Target Queue ConFiguration*
- *Queue_bw* (bps): o tamanho da largura de banda da fila

1 Fase 1: Dimensionamento inicial baseado na largura de banda desejada

Na fase 1, se a $queue_bw \geq util_req_bw$, a fila já está apropriadamente dimensionada e não é alterada. Caso contrário, a $queue_bw$ é ajustada para $desired_bw$. Larguras de banda das filas só são aumentadas na fase 1.

2 Fase 2: Diminuição da largura de banda da fila para acomodar a máxima largura de banda reservada

Após a fase 1, cada fila já foi individualmente dimensionada de acordo com a largura de banda desejada. Entretanto, algumas interfaces estarão super utilizadas pelas filas. Qualquer interface que estiver sobrecarregada entra na fase 2 para negociar largura de banda entre as filas. Em cada negociação, as seguintes variáveis são definidas:

- $Min_bw_for_queue$ (bps): determinação da largura de banda mínima da fila
- $Excess_bw_for_queue$ (bps): quantidade de largura de banda em excesso para uma determinada fila ($queue_bw - min_bw_for_queue$)
- $Total_excess_bw$ (bps): a soma do $excess_bw_for_queues$ para todas as filas da interface
- Gap_bw (bps): a quantidade remanescente da sobrecarga na interface. É a soma da $queue_bw$ na interface menos a $Max_reserved_bw$ para a interface
- $Share_bw_for_queue$ (bps): a parcela da fila do gap_bw , calculado através da seguinte equação: $(excess_bw_for_queue/total_excess_bw)*gap_bw$

O valor $share_bw_for_queue$ é usado para computar a parte que cada fila deve renunciar em cada fase, baseada na largura de banda alvo, na largura de banda oferecida, na largura de banda mínima e na possibilidade da fila ser de prioridade.

As etapas existentes na fase 2 são:

- 2.1 A $min_bw_for_queue$ é ajustada para a $desired_bw$. Filas são diminuídas de acordo com o $share_bw$. Isto somente causa uma mudança na prática se existir filas inicialmente dimensionadas acima da $desired_bw$. Se não houver nenhum gap_bw remanescente, o redimensionamento está completo.

- 2.2 A *min_bw_for_queue* é ajustada para o *target_bw* de cada fila com a exceção de que, para qualquer fila que for considerada “*strict priority*” ou filas com prioridade habilitada, o *min_bw* é ajustado de acordo com o máximo *target_bw* e *offered_bw*. Filas sofrem diminuição de acordo com o *share_bw*. Se não houver nenhum *gap_bw* remanescente, o redimensionamento está completo.
- 2.3 Essa passo é igual ao 2.2, exceto por uma pequena modificação. O *excess_bw* é computado exatamente como no passo 2.2, porém o *min_bw_for_queue* é ajustado para o valor *min_bw*. Se a fila for uma fila de prioridade, a *min_bw_for_queue* é ajustada para o mínimo da *offered_bw* e *min_bw*. As filas são diminuídas de acordo com o *share_bw*. Se não houver nenhum *gap_bw* remanescente, o redimensionamento está completo.
- 2.4 O último passo usa a mesma lógica do passo anterior, com o *min_bw_for_queue* ajustado para o *min_bw*. Se a fila ainda estiver sobrecarregada, é porque a soma da largura de banda mínima excede 100%. Nesse caso, o resultado indicará que a interface está com mais de 100% de utilização.

É importante ressaltar novamente que o intervalo selecionado para medição dos resultados é o intervalo em que o tráfego total estava no pico, no limite.

6 ANÁLISE DO IMPACTO DA MIGRAÇÃO EM LARGA ESCALA DOS SERVIÇOS DE VOZ DA RTPC PARA A REDE IP DE UM PROVEDOR DE SERVIÇO

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada nessa dissertação bem como os resultados obtidos. Apresenta ainda a análise dos resultados com o intuito de verificar o sucesso no alcance dos objetivos.

Para obter as possíveis políticas de qualidade de serviço necessárias para prover chamadas telefônicas com qualidade de voz semelhantes as da RTPC, em um *backbone* IP de um provedor de serviços, foram realizadas as seguintes etapas, conforme previsto na metodologia descrita na seção 1.3.

- i. Definição das métricas de avaliação da qualidade de voz na rede IP;
- ii. Coleta de dados para estabelecimento dos cenários necessários para medição das métricas definidas;
- iii. Importação dos dados para o software de simulação, SP GURU *Network Planner*, para viabilizar a coleta dos resultados das métricas;
- iv. Simulação dos cenários listados abaixo e análise dos resultados.
 - 1) Desempenho da qualidade das chamadas de voz na rede IP importada, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, sem a configuração de QoS;
 - 2) Desempenho da qualidade das chamadas de voz na rede IP importada, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, com a configuração de QoS;
 - 3) Desempenho da qualidade das chamadas de voz na rede IP importada, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, com a configuração de QoS revisada.
- v. Definição da proposta de melhoria para a rede IP com base nos resultados obtidos nas simulações.

6.1 DEFINIÇÃO DAS MÉTRICAS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VOZ NA REDE IP

Para facilitar a definição das métricas utilizou-se a técnica GQM (*Goal Question Metrics*). A técnica GQM foi originalmente proposta por BASILI, CALDIERA e ROMBACH (1994), para avaliar os defeitos de um conjunto de projetos da NASA *Goddard Space Flight Center*. Posteriormente, o uso do GQM foi expandido e tem sido adotado para medir e melhorar a qualidade de serviços em organizações prestadoras de serviços.

De acordo com os mesmos autores, o modelo de medida proposto contém três níveis: Conceitual (Objetivo); Operacional (Questões) e Quantitativo (Métricas). O objetivo é definido para um objeto, e esse objeto pode ser um produto, um processo, um serviço ou um recurso utilizado por um processo. As questões são utilizadas para definir um caminho para alcançar um determinado objetivo e tentam caracterizar o objeto de medida relacionado à qualidade. As métricas são definidas através de um conjunto de dados associados a cada questão de forma quantitativa. Esses dados podem ser objetivos ou subjetivos.

SOLINGEN e BERGHOUT (1999) propõem as seguintes fases para definir um GQM: (i) planejamento, que envolve a seleção da aplicação a ser mensurada, definição, caracterização e planejamento do projeto de medição; (ii) definição, na qual os objetivos, questões, métricas e hipóteses são definidas e documentadas; (iii) coleta de dados, para atender as métricas definidas; e (iv) interpretação, na qual os dados coletados são analisados para identificar as respostas às questões.

Portanto, seguindo as fases de definição de um GQM, o objetivo macro é analisar, por meio de simulações computacionais, o impacto da migração dos serviços de voz, oferecidos na RTPC de um provedor de serviço de telecomunicações para seu *backbone* IP e verificar se será necessário implantar políticas de qualidade de serviço para que a qualidade das chamadas de voz na rede IP seja semelhante à qualidade das chamadas de voz na RTPC.

Após a definição do objetivo macro da avaliação, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- i. Simular da migração do tráfego de voz existente na RTPC para o *backbone* IP e analisar se os valores de utilização de largura de banda, perda de pacote, atraso fim-a-fim e *jitter* (variação do atraso) atendem aos valores estipulados para a transmissão de voz com qualidade semelhante a da RTPC;
- ii. Definir uma Política de QoS no *backbone* da rede IP de um provedor de serviço de telecomunicações de modo a otimizar o uso de recursos da rede e obter uma qualidade de voz satisfatória;
- iii. Identificar a necessidade de modificações na infra-estrutura IP/NGN (capacidade dos enlaces) de modo a efetivar uma transferência em larga escala dos serviços da RTPC.

Para os objetivos 1, 2 e 3 foram definidas questões em comum para caracterizar o objeto em estudo tais como: i) Qual é o valor MOS? ii) Qual é a taxa de perda de pacotes? iii) Qual é o atraso fim-a-fim medido entre os fluxos de voz importados da rede RTPC? iv) Qual é a variação do atraso (*jitter*) existente nos fluxos de voz importados da rede RTPC?

Estas questões se baseiam nas características de QoS apresentadas no capítulo 4 deste documento e as métricas que respondem as questões se baseiam no capítulo 3, seção 3.4.

Ao todo foram definidos 3 objetivos, 4 questões e 4 métricas. Tanto as métricas quanto as escalas foram definidas com base nos fatores que influenciam a qualidade de voz, conforme descrito na seção 3.4 deste documento. Os quadros 6-1 e 6-2 apresentam os objetivos e suas respectivas questões e métricas.

Objetivo 1:

2. • Propósito: Avaliar
3. • Questão: Qualidade das chamadas de voz na rede IP sem nenhuma alteração física ou lógica na atual rede
4. • Objeto: Chamadas de voz na rede IP
5. • Ponto de Vista: Resultados gerados pelo software SP Guru *Network Planner*

Objetivo 2:

6. • Propósito: Avaliar
7. • Questão: Qualidade das chamadas de voz na rede IP após aplicação de políticas de QoS
8. • Objeto: Chamadas de voz na rede IP
9. • Ponto de Vista: Resultados gerados pelo software SP Guru *Network Planner*

Objetivo 3:

10. • Propósito: Avaliar
11. • Questão: Qualidade das chamadas de voz na rede IP após a revisão das políticas de QoS
12. • Objeto: Chamadas de voz na rede IP
13. • Ponto de Vista: Resultados gerados pelo software SP Guru *Network Planner*

Quadro 6-1: Objetivos GQM

QUESTÕES	MÉTRICAS	ESCALA
Questão 1.1: Qual é o valor MOS?	Métrica 1.1 O valor do MOS foi obtido através do software SP GURU da OPNET	4.0 ≤ valor MOS ≤ 4.5
Questão 1.2: Qual é a taxa de perda de pacotes?	Métrica 1.2 Percentual de pacotes perdidos M 1.2.a = (Qtd de pacotes perdidos/ Qtd total de pacotes)*100	taxa média de perda de pacotes ≤ 0.25%
Questão 1.3 Qual é o atraso fim-a-fim medido entre os fluxos de voz importados da rede RTPC?	Métrica 1.3 atraso fim-a-fim (da origem até o destino) é a soma dos atrasos nodais M 1.3 = $d_{\text{fim-a-fim}} = N(d_{\text{rede}} + d_{\text{CODEC}} + d_{\text{debuffer}})$ N = número de pacotes d_{rede} = atraso devido ao transporte do pacote pela rede d_{CODEC} = atraso do CODEC d_{debuffer} = atraso do <i>debuffer</i>	0-150ms: atraso máximo em uma conversa telefônica unidirecional
Questão 1.4: Qual é o <i>jitter</i> existente nos fluxos de voz importados da rede RTPC?	Métrica 1.4 Variação em tempo (segundos) da taxa de chegada (variação de atraso na rede) de pacotes que foram transmitidos de forma uniforme M 1.4 = atraso máximo – atraso mínimo → cálculo realizado pelo software SP GURU	5-10ms: valor aceitável de <i>jitter</i> por nó

Quadro 6-2: Questões e métricas definidas para atender os objetivos

6.2 COLETA DE DADOS PARA ESTABELECEMOS OS CENÁRIOS NECESSÁRIOS PARA MEDIÇÃO DAS MÉTRICAS DEFINIDAS

A coleta de dados foi realizada em uma empresa provedora de serviços de telecomunicações brasileira, com aproximadamente 8,4 milhões de linhas fixas em serviço, 1,3 milhão de acessos banda larga e com a operação celular superior a 3,3 milhões de acessos.

Com a necessidade de importar o tráfego de voz da RTPC para a rede IP, métricas de avaliação da qualidade das chamadas de voz foram definidas. Para possibilitar a coleta dessas métricas os seguintes cenários foram utilizados:

- i. Atual Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações escopo deste trabalho, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, sem a configuração de QoS;
- ii. Atual Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações escopo deste trabalho, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, com a configuração de QoS;
- iii. Atual Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações escopo deste trabalho, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, com a configuração de QoS; revisada

Para estabelecer estes cenários e obter os resultados das métricas necessárias para alcançar os objetivos estabelecidos foi necessário obter do provedor de serviço de telecomunicações, para viabilizar a simulação no software SP Guru Network Planner, os seguintes dados:

- i. A configuração dos roteadores que compõem a rede IP do provedor de serviço de telecomunicações
- ii. A utilização dos enlaces entre os roteadores da rede IP do provedor de serviço de telecomunicações
- iii. Valores do atraso de propagação fim – a - fim (ida e volta) entre os roteadores da parte da rede IP do provedor de serviço de telecomunicações em análise
- iv. A taxa de tráfego de voz, em *Erlang*, proveniente da rede RTPC do provedor de serviço de telecomunicações.

A seguir será detalhado como os itens listados acima foram obtidos das redes IP e RTPC do provedor de serviço de telecomunicações para possibilitar a montagem dos cenários e a obtenção dos resultados das métricas.

6.2.1 Importação da Configuração dos Roteadores da Rede IP Existente para o Software SP Guru

A primeira etapa da metodologia utilizada consistiu na seleção de quais roteadores do *backbone* IP de um provedor de serviço deveriam fazer parte da simulação, uma vez que uma rede de provedor de serviço pode possuir mais de 100 roteadores. Para facilitar a seleção dos roteadores recorreu-se à localização das centrais telefônicas da rede RTPC do provedor de serviço.

Diante deste contexto, foram consideradas somente as camadas borda, core e distribuição/acesso de uma rede IP, totalizando 33 roteadores. A entrada e saída do tráfego de voz na rede foram realizadas através dos roteadores de distribuição/acesso conforme mostra a Figura 6-1.

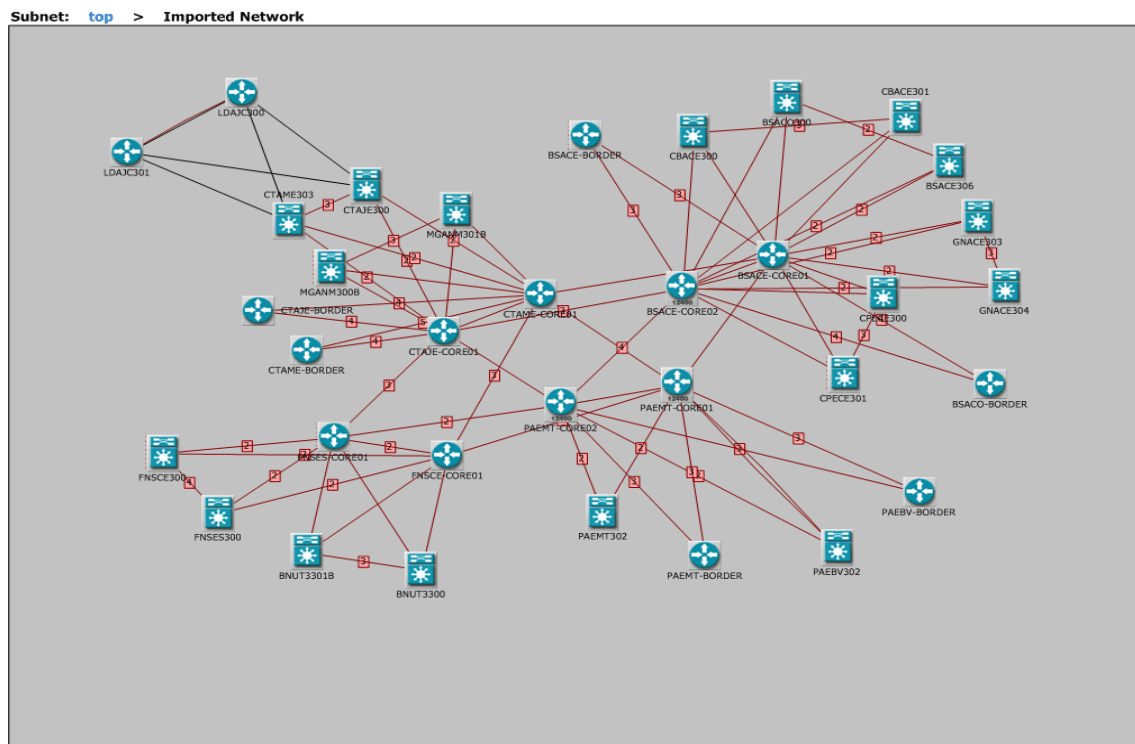


Figura 6-1: Rede IP importada para o software SP Guru

Fonte: software SP Guru Network Planner

Dado que o provedor de serviços possui diversos roteadores de distribuição conectados aos roteadores core, foram considerados somente os roteadores de distribuição que se encontravam na mesma localidade das centrais N1 da RTPC. Ou seja, o tráfego de voz centralizado nas centrais N1, que possuem unicamente função trânsito interurbano nacional e internacional, teriam como ponto de entrada correspondente na rede IP importada o roteador de distribuição que se encontrava na mesma cidade.

Após a seleção dos roteadores a serem utilizados na simulação da rede IP do provedor de serviço o próximo passo foi importar os roteadores para o software SP GURU *Network Planner*. Para isso foi necessário coletar, a partir de cada um dos equipamentos, o resultado dos comandos descritos na Tabela 6-1:

Tabela 6-1: Comandos dos roteadores utilizados

ORDEM	COMANDO	DESCRIÇÃO
1	show running-config	Contém a informação básica sobre o roteador e sua configuração
2	show cdp neighbor detail	Usado para determinar a conectividade entre os roteadores vizinhos
3	show version	Usado para determinar o tipo de roteador
4	show interfaces	Recomendado para definir o tamanho do MTU e as informações de métrica (atraso, largura de banda) da interface
5	show frame-relay map	Usado para replicar os PVCs frame-relay estáticos
6	show atm map	Usado para replicar os PVCs ATM estáticos

Conforme descrito anteriormente, para importar uma rede IP para o software SP Guru é necessário coletar o resultado de diversos comandos dos roteadores, listado na Tabela 6-1. Todos os comandos de um roteador foram agregados em um único arquivo texto, conforme exemplificado no quadro 6-3.

```
router01#sh run
Building conFfiguration...

Current conFfiguration : 14399 bytes
!
!
upgrade fpd auto
version 12.0
no service pad
service tcp-keepalives-in
service tcp-keepalives-out
service timestamps debug datetime msec localtime show-timezone
service timestamps log datetime msec localtime show-timezone
service password-encryption
```

```

!
hostname router01
!
boot-start-marker
boot system flash disk0:c12kprp-k4p-mz.120-32.S5.bin
boot-end-marker
!
!
redundancy
 mode rpr-plus
logging buffered 128000 debugging
logging rate-limit 15
aaa new-model

router01#sh cdp neigh det
-----
Device ID: router301B
Entry address(es):
  IP address: x.x.x.x
Platform: cisco CISCO7613, Capabilities: Router Switch IGMP
Interface:  GigabitEthernet7/0/0,      Port ID (outgoing port):
GigabitEthernet1/1
Holdtime : 158 sec

Version :
Cisco Internetwork Operating System Software
IOS (tm) s72033_rp Software (s72033_rp-ADVIPSERVICESK9_WAN-M), Version
12.2(18)SXF8, RELEASE SOFTWARE (fc2)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2007 by cisco Systems, Inc.

Router01#sh version
Cisco Internetwork Operating System Software
IOS (tm) GS Software (C12KPRP-K4P-M), Version 12.0(32)S5, RELEASE
SOFTWARE (fc2)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2006 by cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 18-Oct-06 16:02 by leccese
Image text-base: 0x00010000, data-base: 0x05186000

ROM: System Bootstrap, Version 12.0(20051020:160303) [sjabbar-
CSCsa64979_4 1.17dev(0.5)] DEVELOPMENT SOFTWARE
BOOTLDR: GS Software (C12KPRP-K4P-M), Version 12.0(32)S5, RELEASE
SOFTWARE (fc2)

router01 uptime is 23 weeks, 6 days, 23 hours, 25 minutes
Uptime for this control processor is 23 weeks, 6 days, 23 hours, 8
minutes

router01#sh int
GigabitEthernet0/0/0 is up, line protocol is up
  Small Factor Pluggable Optics okay
  Hardware is GigMac 10 Port GigabitEthernet, address is 000a.f30c.0000
(bia 000a.f30c.0000)
  MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit, DLY 10 usec, rely 255/255, load
102/255
  Encapsulation ARPA, loopback not set
  Keepalive set (10 sec)
  Full Duplex, 1000Mbps, link type is force-up, media type is LX
  output flow-control is unsupported, input flow-control is off
  ARP type: ARPA, ARP Timeout 04:00:00

```

```

Last input 00:00:00, output 00:00:00, output hang never
Last clearing of "show interface" counters 10w0d
Queueing strategy: fifo
Output queue 0/40, 0 drops; input queue 0/75, 0 drops
30 second input rate 132750000 bits/sec, 48271 packets/sec
30 second output rate 402926000 bits/sec, 71445 packets/sec

router01# sh atm map

router01#sh frame-relay map

```

Quadro 6-3: Exemplo de arquivo com resultados dos comandos executados nos roteadores

Uma peculiaridade da versão 14.0A PL3 – Build 6313 32bit do software SP Guru é o reconhecimento de interfaces 10 *gigabit ethernet*. Em um roteador Cisco 12000, o output do comando *sh running config* não diferencia interfaces 10 *gigabit ethernet* de interfaces *gigabit ethernet* pelo nome dado a mesma, ou seja, a configuração de tais interfaces sempre iniciará com a seguinte expressão: *interface gigabitethernet x/y*. Para que o software SP Guru reconhecesse que a interface era 10 *gigabit ethernet* e não somente *gigabit ethernet* foi necessário alterar o texto da configuração de todas as interfaces 10 *gigabit ethernet* para: *interface tengigabitethernet x/y*.

6.2.2 Importação da Atual Utilização dos Enlaces entre os Roteadores para o Software SP Guru Network Planner

Após a importação dos roteadores e a conseqüente formação da rede IP no software SP Guru *Network Planner*, foi necessário importar a taxa de utilização de todos os enlaces existentes na rede, uma vez que tal ocupação seria considerada como o tráfego de dados presente na rede, com o qual o tráfego de voz disputaria banda. A taxa de todos os enlaces foi coletada em intervalos de 30 minutos, durante 24 horas. Os dados foram coletados a partir da ferramenta web Cacti, que supre a falta de um *front-end* "oficial" do RRDTOOL - *Round Robin Database Tool* - (ferramenta usada para monitorar servidores e equipamentos de rede), e exportados para um arquivo excel no formato exemplificado na Tabela 6-2:

Tabela 6-2: Dados de utilização de enlaces coletados via Cacti

TÍTULO	ÚLTIMOS 5 MIN	TRÁFEGO (MBITS/SEG)	DIREÇÃO
<i>Router</i> (Core) - Interconexão Core - BSACE-CORE01_GE2/1/0-PAEMT-CORE01_GE	25/10/07 10:10	944.10	IN

Router (Core) - Interconexão Core - BSACE-CORE01_GE2/1/0-PAEMT- CORE01_GE	25/10/07 10:10	1.639.06	OUT
---	----------------	----------	-----

Entretanto, foi necessário manipular o formato dos dados coletados via Cacti, uma vez que as informações do arquivo a ser importado para o SP Guru, cuja extensão é .gbu2, deveriam estar ordenadas conforme quadro 6-4:

#Alias	Time(s)	Value (bps)	Avg Frame Size	Direction
BSACE-CORE01.GigabitEthernet0/0/4	900	129720000	2270.52	IN
BSACE-CORE01.GigabitEthernet0/0/4	900	315620000	5419.06	OUT

Quadro 6-4: Formato arquivo gbu2

Ao comparar as informações contidas na Tabela 6-2 e no quadro 6-4 observa-se que a Tabela 6-2 não possui dados sobre o tamanho médio dos pacotes que passam pelas interfaces. Tal informação foi obtida através da análise do resultado do comando *show interfaces* executado nos roteadores, mais especificamente do trecho destacado na Tabela 6-3.

Tabela 6-3: Tamanho médio dos pacotes

```

router01#sh int
GigabitEthernet0/0/0 is up, line protocol is up
  Small Factor Pluggable Optics okay
  Hardware is GigMac 10 Port GigabitEthernet, address is 000a.f30c.0000
(bia 000a.f30c.0000)
  MTU 1500 bytes, BW 1000000 Kbit, DLY 10 usec, rely 255/255, load
102/255
  Encapsulation ARPA, loopback not set
  Keepalive set (10 sec)
  Full Duplex, 1000Mbps, link type is force-up, media type is LX
  output flow-control is unsupported, input flow-control is off
  ARP type: ARPA, ARP Timeout 04:00:00
  Last input 00:00:00, output 00:00:00, output hang never
  Last clearing of "show interface" counters 10w0d
  Queueing strategy: fifo
  Output queue 0/40, 0 drops; input queue 0/75, 0 drops
30 second input rate 132750000 bits/sec, 48271 packets/sec
30 second output rate 402926000 bits/sec, 71445 packets/sec

```

Para obter o tamanho médio dos pacotes foi dividido o número de bit/s pelo número de pacotes/s. Foi observado também que a variação do tamanho médio dos pacotes não é expressiva quando se varia o tempo e a taxa de ocupação dos enlaces.

6.2.3 Importação do Atraso de Propagação Fim – a - Fim (Ida e Volta)

Com o intuito de obter resultados de simulação mais próximos dos valores presentes na rede IP em produção, foram importados os números do atraso fim – a - fim (ida e volta) mínimo entre os roteadores (nos enlaces ponto – a – ponto). Na rede IP os valores do atraso fim – a - fim (ida e volta) foram obtidos através do comando *ping*.

O comando *ping* é muito utilizado na detecção de problemas de acessibilidade em redes IP. Os resultados obtidos pelo comando *ping*, que utiliza uma série de mensagens *Internet Control Message Protocol* (ICMP) do tipo *echo*, podem determinar:

- Se o dispositivo remoto está ativo ou inativo;
- o atraso fim – a - fim (ida e volta) mínimo, médio e máximo na comunicação com o dispositivo remoto;
- perda de pacote.

Sabe-se que o atraso de propagação é um dos componentes do atraso fim – a – fim. A importação dos valores do atraso fim – a – fim informou indiretamente ao software SP Guru que os roteadores estão distantes uns dos outros, às vezes poucos metros, como os roteadores fisicamente localizados na mesma estação, outras vezes, vários quilômetros.

A importação dos valores dos atrasos fim-a-fim para o software SP Guru foi realizada através de um arquivo *.csv* que continha as seguintes informações:

- *Source Hostname* – Nome do roteador de origem
- *Destination Hostname* – Nome do roteador de destino
- *Min RT Latency (msecs)* – Atraso mínimo fim-a-fim (ms)

Os valores dos atrasos de propagação encontram-se como anexo no apêndice A.

6.2.4 Importação do Tráfego de Voz Proveniente da Rede RTPC

Para obter uma estimativa do tráfego da RTPC que passaria a utilizar a rede IP como meio de transporte foram observadas as taxas de ocupação (em *Erlang*) de cada central do tipo

N1. A frequência de coleta foi de hora em hora, durante 24 horas. As taxas de ocupação das centrais foram obtidas através da página web do sistema de administração de tráfego - SATWEB. O SATWEB obtém as informações de tráfego das centrais telefônicas conforme apresentado na Figura 6-2 e Tabela 6-4:

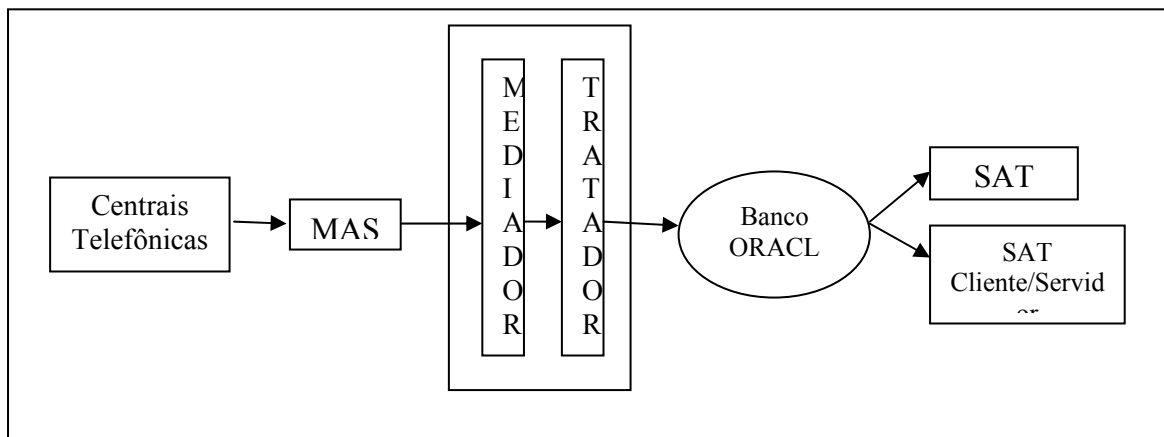


Figura 6-2: SAT - Sistema de Administração de Tráfego

Tabela 6-4: Descrição fluxo de obtenção SAT

ETAPA DO FLUXO	DESCRIÇÃO
MASC	Mediador de Alarmes, Serviços e Comandos
MEDIADOR	Software responsável pelo tratamento dos arquivos disponibilizados pelas centrais
TRATADOR	Software responsável pela adequação dos arquivos de tráfego para inserção no banco de dados
BANCO ORACLE	Banco de Dados responsável pelo armazenamento dos dados de tráfego
SATWEB	Sistema de administração de tráfego via web
SAT Cliente/Servidor	Sistema de administração de tráfego

O quarto e último arquivo a ser importado para o software SP Guru foi o arquivo (com extensão .tr3) com as informações de tráfego das centrais telefônicas. Entretanto, também foi necessário manipular o formato dos arquivos coletados da ferramenta SATWEB. A Tabela 6-5 exemplifica o arquivo coletado da ferramenta SATWEB.

Tabela 6-5: Informações contidas no arquivo coletado na ferramenta SATWEB

Df Bsa Gw1 <--> Go Gna Gw 2	
Data/Hora	Traf. Total (Erlang)
11/11/2007 23:00:00	195.3
11/11/2007 22:00:00	408.7

Já a Tabela 6-6 mostra o formato do arquivo .tr3, que deve ser importado para a ferramenta *VoIP Readiness Assessment* do software SP Guru com os fluxos de voz que trafegarão na rede IP.

Tabela 6-6: Formato do arquivo a ser importado para o SP Guru com informações sobre os fluxos de voz

time_origin:11/11/2007 00:00:00				
time_end:11/12/2007 00:00:00				
volume_metric: erlangs				
traffic:				
source	destination	Start	end	volume
router306	router300	11/11/2007 23:00	11/12/2007 00:00	17.3
router306	router300	11/11/2007 22:00	11/11/2007 23:00	43.2
router306	router300	11/11/2007 21:00	11/11/2007 22:00	70.4

Dado que as informações disponibilizadas pela ferramenta SATWEB possuem como origem e destino as centrais telefônicas, foi necessário realizar uma associação entre as centrais telefônicas e os roteadores de distribuição/acesso, conforme detalhado na Tabela 6-7. A associação foi baseada primordialmente na localização geográfica das centrais telefônicas. Algumas estações do provedor de serviço comportam tanto as centrais telefônicas como os roteadores de distribuição/acesso da rede IP, facilitando assim a associação entre estação telefônica e roteador. Nas localidades em que existe uma central telefônica do tipo N1 e dois roteadores de distribuição/acesso, a associação foi realizada dividindo-se a carga da central telefônica entre os dois componentes da rede IP.

Tabela 6-7: Relação Central Telefônica X Roteadores de distribuição/acesso

CENTRAIS TELEFÔNICIAS DO TIPO N1	ROTEADORES DE DISTRIBUIÇÃO/ACESSO
Df Bsa Etce Gw1_Bsa	BSACE306
Df Bsa Etco Gw2_Bsa	BSACO300
Go Gna Cto Gna Gw 2	GNACE303
Go Gna Les Gna Gw 1	GNACE304
Ms Cpe Ce Gw_Cpe	CPECE300 e CPECE301
Mt Cba Copo Gw_Cba	CBACE300 e CBACE301
Pr Cta Me Cta Gw 2	CTAME303
Pr Cta Vn Cta Gw 1	CTAJE300
Pr Lda Lm Lda Gw	LDAJC300 e LDAJC301
Pr Mga Rc Mga Gw	MGANM300B e MGANM301B
Rs Pae Alp Alto Petropolis Tm01	PAEBV302
Rs Pae Bva Bela Vista Tr01	PAEBV302

Rs Pae Itu Jardim Itu Tm01	PAEMT302
Rs Pae Mtz Matriz Tr01	PAEMT302
Sc Bnu Bnu Bnu Gw	BNUT3300 e BNUT3301B
Sc Fns Fns Fns Gw	FNSCE300 e FNSES300

Escolha do CODEC, da marcação de pacotes e do conjunto de protocolos de cabeçalho

Conforme apresentado no Capítulo 5, ao optar por importar os fluxos de voz a ferramenta *VoIP Readiness Assessment* do software SP Guru, oferece a opção de escolher o CODEC a ser utilizado, bem como o protocolo de cabeçalho e marcação do pacote. No escopo deste trabalho decidiu-se realizar simulações com os CODECs: G.711 e G.729A, referenciado na Seção 3.2. A escolha destes CODECs deve-se ao fato de serem os mais utilizados por redes VoIP e por ser as opções em estudo pela área de Arquitetura e Tecnologia do provedor de serviço de telecomunicações, escopo deste trabalho.

Apesar de ser possível escolher qual conjunto de protocolo de cabeçalho para os pacotes com voz, foi utilizado em cada cenário das simulações o conjunto RTP/UDP/IP, também por serem o conjunto mais utilizado em redes multisserviços de provedores de serviço de telecomunicações. Quanto à precedência, o tráfego de voz foi marcado como EF.

Com o CODEC e o conjunto de protocolos selecionados é possível calcular a banda, em bps, de um pacote IP com dados de voz. Com a banda, em bps, de cada pacote é possível calcular o tráfego gerado pela importação do tráfego de voz da RTPC. A equação para calcular a banda em bps de um pacote de voz está descrita na Equação 6-1.

Banda do pacote (bps) = (tamanho do *payload* do pacote IP + tamanho do cabeçalho do pacote IP) * número de pacotes por segundo (pps) * 8 (conversão bytes para bits)

Equação 6-1: Taxa (bps) de um pacote IP com dados do tráfego de voz da RTPC

O número de bytes gerado pelo conjunto de protocolos RTP/UDP/IP é 40 bytes. A Tabela 6-8 apresenta os demais dados necessários para o cálculo da banda ocupada por cada pacote do fluxo de voz. Note que o tamanho do *payload* de voz e a taxa de pacotes por segundo dependerá do número de amostras de voz inseridas em cada pacote IP. Nesse trabalho utilizou-se uma amostra por pacote IP, por ser o formato *default* do software SP

Guru *Network Planner*. No final deste capítulo será apresentada uma comparação entre a utilização de 1 amostra de voz por pacote IP e 2 amostras de voz por pacote IP.

Tabela 6-8: Atributos de cada CODEC no software SP GURU – 1 amostra de voz/pacote

Fonte: CISCO (2005)

CODEC & TAXA DE BITS (BPS)	TAMANHO DA AMOSTRA DO CODEC (BYTES)	INTERVALO ENTRE AMOSTRAS DO CODEC (MS)	TAMANHO DO PAYLOAD DE VOZ		TAXA DE PACOTES POR SEGUNDO (PPS)
			bytes	ms	
G.711 64kbps	80	10	80	10	100
G.729A 8kbps	10	10	10	10	100

A banda ocupada por cada pacote, de acordo com o CODEC utilizado e com as informações descritas anteriormente, encontra-se na Tabela 6-9.

Tabela 6-9: Banda consumida por pacote de voz (com 1 amostra de voz)

CODEC	BANDA CONSUMIDA POR CADA PACOTE (BPS)
G.711	96000
G.729A	40000

6.3 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nessa seção os resultados obtidos serão apresentados e analisados, com base nos parâmetros importados da rede IP em produção e nas métricas definidas no Quadro 6-2.

Para que os resultados obtidos através do software SP GURU *Network Planner* fossem considerados factíveis, tornou-se necessário validar a rede IP modelada. Uma maneira encontrada para validar os resultados foi por meio da validação da tabela de roteamento. Se a tabela de roteamento da rede modelada no software SP GURU *Network Planner* for compatível com a tabela de roteamento gerada pela rede em produção, o indício de que os fluxos de voz importados serão roteados corretamente é alto. A seguir é apresentada esta validação.

6.3.1 Validação da Rede IP no Software SP GURU *Network Planner*

A validação da rede IP importada para o software SP GURU *Network Planner* consistiu em comparar os valores das tabelas de roteamento da rede operacional, em produção, com as tabelas de roteamento gerada pela ferramenta *Flow Analysis* do software SP GURU *Network Planner*.

A validação do roteamento incluiu a comparação entre a tabela de roteamento da rede simulada, gerada através da ferramenta *Flow Analysis* do software SP GURU *Network Planner* e a tabela de roteamento da rede em produção, obtida através do comando *show ip route* executado em cada um dos roteadores. Só foram analisados os prefixos que continham endereços IP das interfaces por onde os fluxos de voz trafegariam. Essa redução na análise partiu do princípio de que não há necessidade de analisar as interfaces dos roteadores sem fluxos de voz. Os resultados estão listados na Tabela 6-10.

Das 3500 entradas ausentes na tabela de roteamento da ferramenta *Flow Analysis*, provenientes dos 130 prefixos ausentes, foi detectado que todas eram prefixos externos (não continham os endereços IPs das interfaces com tráfego de voz), irrelevantes para este estudo. Devido à irrelevância, os prefixos foram desconsiderados e novos valores foram obtidos, conforme demonstrado na Tabela 6-10.

Tabela 6-10: Comparação da Tabela de roteamento - ferramenta *Flow Analysis* do software SP GURU x rede operacional

	ANTES EXCLUSÃO ROTAS EXTERNAS		APÓS EXCLUSÃO ROTAS EXTERNAS	
Total de rotas provenientes da rede operacional	17342		14035	
Rotas com correto comportamento de encaminhamento	13842	79,80%	13842	98,6%
Rotas compatíveis	13784	79,50%	13784	98,2%
Rotas parcialmente compatíveis	58	0,30%	58	0,4%
Incompatibilidade de métrica	58	0,30%	58	0,4%

Rotas com incorreto comportamento de encaminhamento	3500	20,20%	193	1,4%
Incompatibilidade <i>Next-Hop</i>	0	0%	0	0%
Rotas ausentes na Tabela de roteamento da ferramenta <i>Flow Analysis</i>	3500	20,20%	193	1,4%
Rotas extras na Tabela de roteamento da ferramenta <i>Flow Analysis</i>	186		186	
Prefixos únicos na Tabela de roteamento da rede operacional	715		585	
Prefixos com correto comportamento de encaminhamento	438	61,30%	438	74,9%
Prefixos com rotas totalmente compatíveis	438	61,30%	438	74,9%
Prefixos com rotas parcialmente compatíveis	0	0%	0	0%
Prefixos com incorreto comportamento de encaminhamento	147	20,60%	147	25,1%
Prefixos ausentes na ferramenta <i>Flow Analysis</i>	130	18,20%	0	0%
Prefixos extras na ferramenta <i>Flow Analysis</i>	0	0%	0	0%

Os resultados obtidos são satisfatórios, exceto a incompatibilidade de métrica, que não deve afetar os resultados da simulação. Desta forma, os resultados da validação do roteamento da rede importada indicam que os fluxos de voz importados serão roteados corretamente.

Após a validação do roteamento da rede IP importada para o software SP GURU *Network Planner*, foi iniciada a tentativa de validação do *jitter*. Entretanto, não foi possível realizar esta validação devido ao fato do volume de tráfego presente na rede IP importada ser

diferente do tráfego presente na rede IP em produção no momento da coleta dos valores de *jitter*.

Com a validação da rede modelada pelo software SP GURU *Network Planner*, e como a configuração de políticas de QoS não influencia na quantidade de tráfego existente na rede IP em análise, será apresentado e discutido a seguir o percentual de utilização dos enlaces presentes no *backbone* IP em estudo.

6.3.2 Utilização dos Enlaces sem o Tráfego de Voz da Rede RTPC

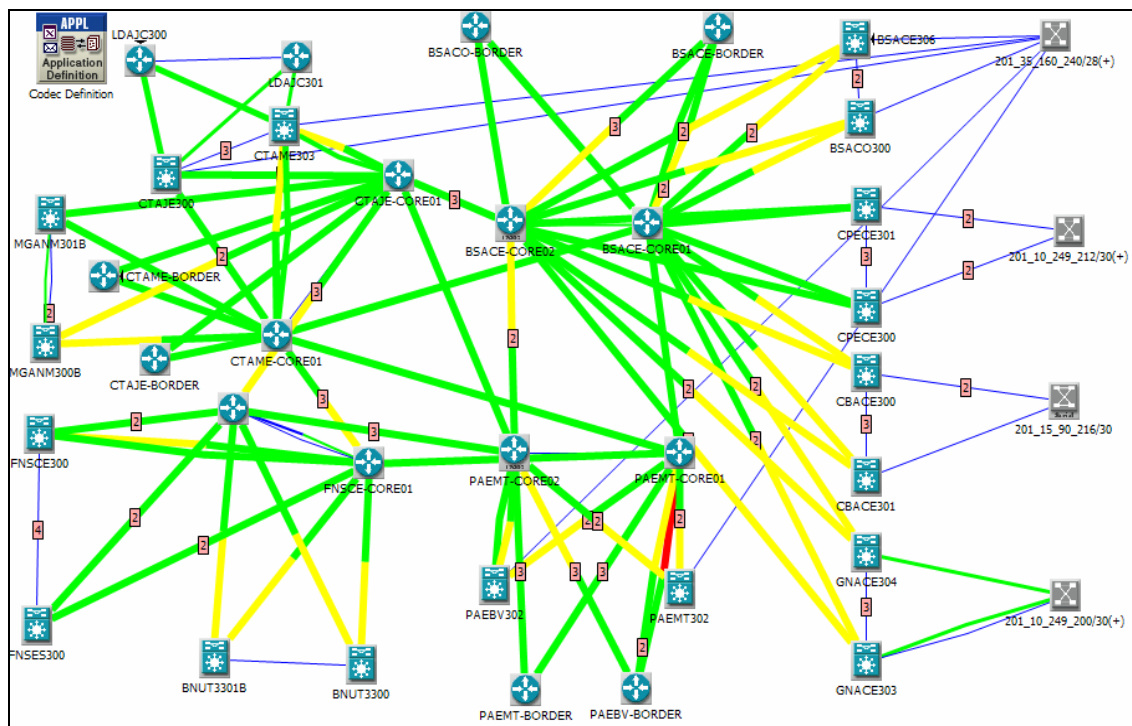
Na seção 6.2.2 foi apresentado o método utilizado para importar os dados de utilização dos enlaces ainda sem o tráfego de voz proveniente da importação do tráfego da RTPC. Nessa seção serão apresentados e analisados os resultados da importação dos dados dos enlaces para o software SP Guru *Network Planner*. O resultado da importação da utilização dos enlaces foi obtido através da ferramenta *Flow Analysis* do software SP GURU *Network Planner*.

A Tabela 6-11 resume os resultados da importação do tráfego de dados existente nos enlaces da rede IP.

Tabela 6-11: Importação da utilização dos enlaces da rede IP

DATA E HORÁRIO DE APURAÇÃO	00:00:00h de 11/11/2007 até: 00:00:00h de 12/11/2007
HORÁRIO DE PICO	Início às 15:30:00h de 11/11/2007 com uma vazão média de 101.793 Gbps
Nº DE ENLACES	108
VOLUME TOTAL NOS ENLACES	741.649 TB
VOLUME MÉDIO POR ENLACE	6.804 TB

A Figura 6-3 apresenta a utilização média de cada enlace, ainda sem os fluxos de voz, no horário de pico.



Legenda

Cor	% de utilização do enlace (limite inferior)	Largura do Enlace	Vazão do enlace em Mbps (limite inferior)
Blue	= 0.0	1	= 0.0
Green	0.0	2	0.0
Yellow	50	3	1.54
Red	75	4	44.74
		5	51.85
		6	155.52

Figura 6-3: Utilização dos enlaces da rede IP sem fluxos de voz

Fonte: Ferramenta *Flow Analysis* software SP Guru Network Planner

Para analisar a taxa de utilização dos enlaces da rede IP em estudo foi utilizada a premissa atualmente adotada pelo provedor de serviço de telecomunicações, escopo deste trabalho, que afirma que os enlaces da rede IP devem ter no máximo 50% de utilização. Para explicar o motivo da adoção deste limiar de utilização primeiro deve-se observar que todo par de roteadores da rede em estudo possui, no mínimo, dois enlaces em paralelo, interconectando-os. A premissa de 50% de utilização de cada enlace garante que, se um dos enlaces entre um par de roteadores falhar, os dados não perceberão a falha uma vez que poderão utilizar o outro enlace em paralelo. Como o enlace que não apresenta falhas terá no máximo 50% de utilização, poderá assim absorver o tráfego que utilizaria o enlace em falha.

Pela Figura 6-3 nota-se que existe um enlace, no horário de pico, com mais de 75% de utilização – o enlace entre os roteadores PAEMT-BORDER e PAEMT-CORE01. Outros enlaces, conforme mostrado na Figura 6-3 apresentam utilização entre 50% e 75%. Tais resultados não inviabilizam o acréscimo do tráfego de voz da rede RTPC, só não poderão garantir total redundância se um dos enlaces em paralelo falhar.

É importante ressaltar que o software SP GURU *Network Planner* assume que a taxa de utilização já existente nos enlaces não fornece informação sobre a origem e o destino dos pacotes IP que compõem o tráfego. Se um pacote passar por diversos enlaces de uma rede, o pacote irá contribuir com a utilização de cada um desses enlaces. Os dados de ocupação dos enlaces não podem ser “roteados” porque eles não têm uma origem e um destino estabelecidos. Esses dados de ocupação podem ser usados para “consumir recurso” do enlace e das filas configuradas nas interfaces dos roteadores. Dados de ocupação dos enlaces, no software SP GURU *Network Planner*, não fornecem informação de desempenho de seus fluxos de dados.

6.3.3 Utilização dos Enlaces com o Tráfego de Voz da Rede RTPC

Na seção 6.3.2 foi apresentado e analisado os dados de utilização dos enlaces sem o tráfego de voz proveniente da importação do tráfego da RTPC. Nessa seção serão apresentados os resultados da utilização dos enlaces já com os fluxos de voz da rede RTPC.

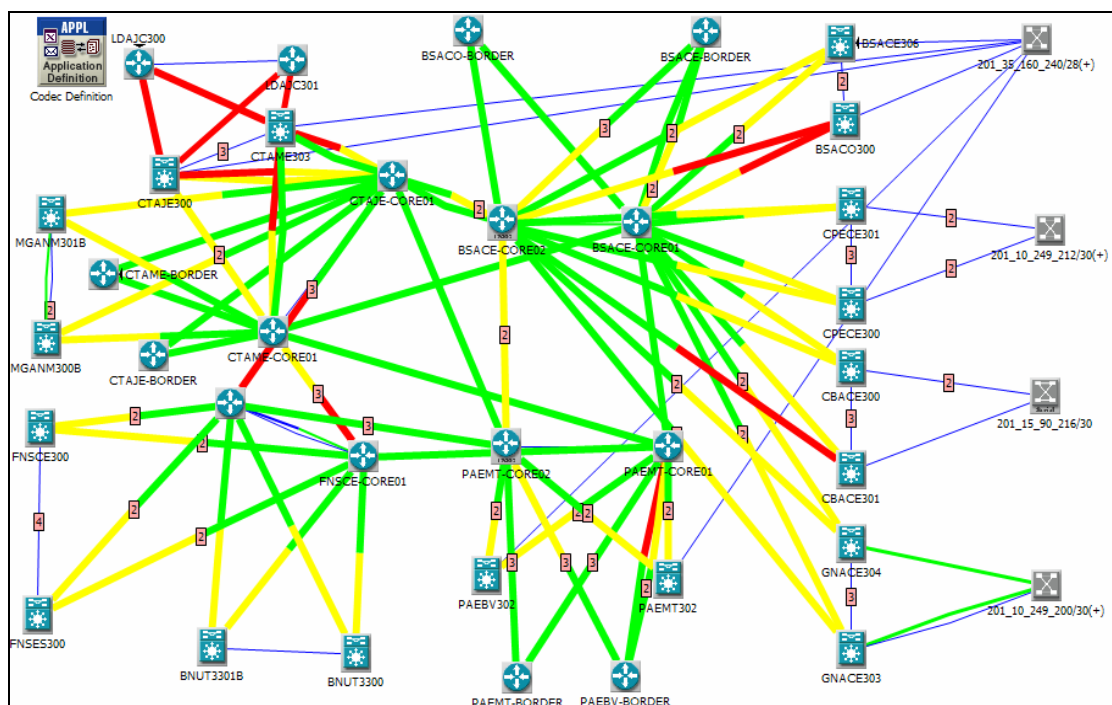
A Tabela 6-12 apresenta os valores em volume de tráfego acrescentados à rede IP após a importação do tráfego de voz e após a análise da ferramenta *Flow Analysis* do software SP Guru *Network Planner*, tanto utilizando o CODEC G.711 como utilizando o CODEC G.729A.

Tabela 6-12: Tráfego de voz importado para o software SP GURU Network Planner

CODEC	G.711	G.729A
Data e horário de apuração	00:00:00h de 11/11/2007 até: 00:00:00h de 12/11/2007	00:00:00h de 11/11/2007 até: 00:00:00h de 12/11/2007
Horário de Pico	Início às 09:00:00h de 11/11/2007 com uma taxa de vazão média de 5.313 Gbps	Início às 09:00:00h de 11/11/2007 com uma taxa de vazão média de 2.214 Gbps

Nº de Fluxos de Voz Importados	282	282
Volume total dos Fluxos de Voz	26.468 TB	11.028 TB
Volume médio por Fluxo de Voz	96.112 GB	40.046 GB

As Figuras 6-4 e 6-5 apresentam a utilização média dos enlaces no intervalo em que a soma do tráfego atinge o ápice. A diferença de utilização dos enlaces, baseada no CODEC utilizado, é nítida. Como os pacotes contendo voz codificada com o CODEC G.729A consomem menos banda, conforme Tabela 6-12, era esperado que a utilização dos enlaces fosse menor do que a utilização dos enlaces com pacotes de voz codificados com o CODEC G.711.

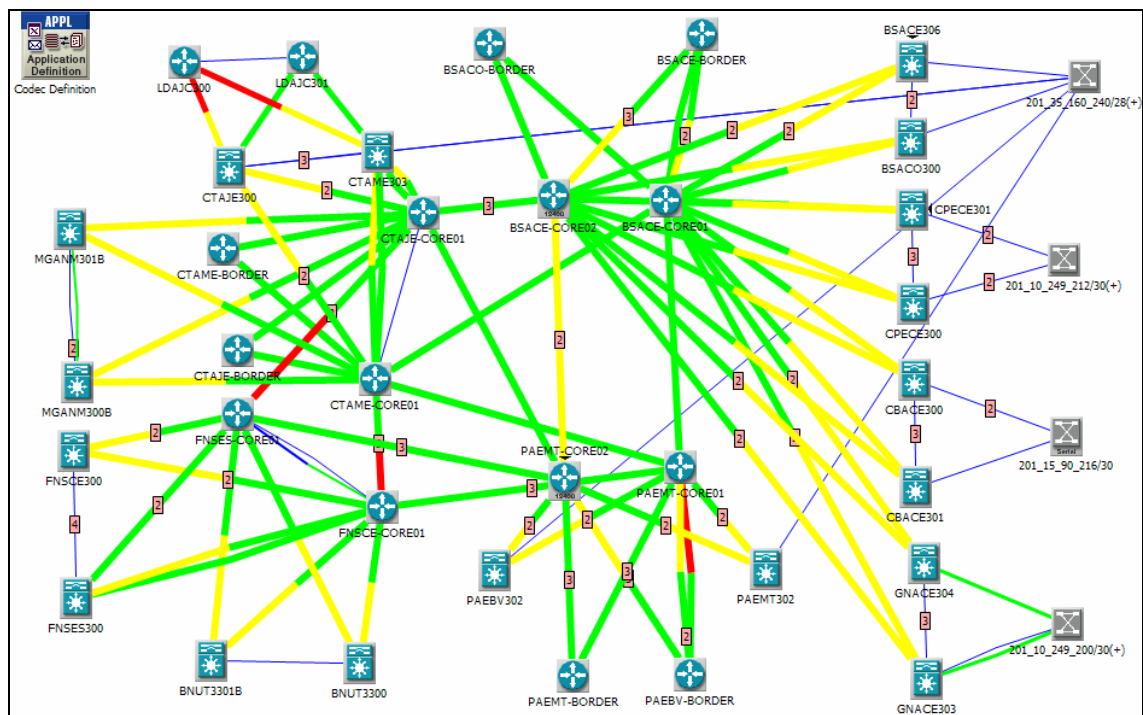


Legenda

Cor	% de utilização do enlace (limite inferior)	Largura do Enlace	Vazão do enlace em Mbps (limite inferior)
Blue	= 0.0	1	= 0.0
Green	0.0	2	0.0
Yellow	50	3	1.54
Red	75	4	44.74
		5	51.85
		6	155.52

Figura 6-4: Utilização média dos enlaces da rede IP com fluxos de voz utilizando CODEC G.711

Fonte: ferramenta *Flow Analysis* software SP Guru Network Planner



Legenda

Cor	% de utilização do enlace (limite inferior)	Largura do Enlace	Vazão do enlace em Mbps (limite inferior)
Blue	= 0.0	1	= 0.0
Green	0.0	2	0.0
Yellow	50	3	1.54
Red	75	4	44.74
		5	51.85
		6	155.52

Figura 6-5: Utilização média dos enlaces da rede IP com fluxos de voz utilizando CODEC G.729A

Fonte: ferramenta *Flow Analysis* software SP Guru Network Planner

Além das Figuras 6-4 e 6-5, a ferramenta *Flow Analysis* do software SP Guru *Network Planner*, gera dois tipos de relatórios com informações sobre a taxa de utilização de largura de banda da rede IP em análise: i) relatório de desempenho das interfaces dos roteadores e ii) relatório de desempenho dos enlaces entre os roteadores. O relatório de desempenho dos enlaces informa detalhes de utilização dos mesmos em ambas as direções dos enlaces físicos, mas não fornece detalhes sobre sub-interfaces, somente o relatório de interfaces. Os dois tipos de relatórios apresentam resultados de utilização considerando tanto o tráfego já existente nos enlaces como o tráfego adicional proveniente da rede RTPC. Entretanto, o relatório de utilização de interface só apresenta utilização das interfaces por onde a voz

trafega. Nesse trabalho optou-se por utilizar os relatórios de utilização dos enlaces, por serem mais completos e por não ser necessário analisar o tráfego de sub-interfaces.

Para facilitar a visualização da utilização dos enlaces nos Gráficos das Figuras 6-6 e 6-7, a Tabela 6-13 relaciona a identificação do enlace com um número, informa a largura de banda do mesmo e se existe ou não pacotes de voz.

Tabela 6-13: Enlaces da rede IP

Nome do Link	Largura de Banda (Mbps)	Presença de Pacotes de Voz	Numeração
BNUT3300 / GigabitEthernet1/1 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet7/0/0	1000	Sim	1
BNUT3300 / GigabitEthernet7/2 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet0/0/0	1000	Sim	2
BNUT3301B / GigabitEthernet1/1 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/0/2	1000	Sim	3
BNUT3301B / GigabitEthernet7/2 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/0/2	1000	Sim	4
BSACE-BORDER / GigabitEthernet1/1/2 <-> BSACE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/2	1000	Não	5
BSACE-BORDER / GigabitEthernet2/1/2 <-> BSACE-CORE01 / GigabitEthernet10/0/3	1000	Não	6
BSACE-BORDER / GigabitEthernet3/1 <-> BSACE-CORE02 / GigabitEthernet3/2	1000	Não	7
BSACE-BORDER / GigabitEthernet7/0/0 <-> BSACE-CORE02 / GigabitEthernet7/0/0	1000	Não	8
BSACE-BORDER / GigabitEthernet7/1/0 <-> BSACE-CORE02 / GigabitEthernet2/1/1	1000	Não	9
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet0/0/3 <-> GNACE304 / GigabitEthernet10/3	1000	Sim	10
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet0/0/4 <-> GNACE303 / GigabitEthernet9/2	1000	Sim	11
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/0 <-> BSACE306 / GE-WAN7/1	1000	Sim	12
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/3 <-> CPECE300 / GigabitEthernet9/3	1000	Sim	13
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/4 <-> GNACE304 / GigabitEthernet9/2	1000	Sim	14
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet10/0/0 <-> CPECE301 / GigabitEthernet8/1	1000	Sim	15
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet10/0/2 <-> BSACE306 / GE-WAN7/4	1000	Sim	16
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet2/0/2 <-> GNACE303 / GigabitEthernet9/3	1000	Sim	17
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet2/0/4 <-> CBACE301 / GigabitEthernet1/2	1000	Sim	18
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet9/0/2 <-> BSACE300 / GigabitEthernet1/1	1000	Sim	19
BSACE-CORE01 / GigabitEthernet9/0/4 <-> CBACE300 / GigabitEthernet1/1	1000	Sim	20
BSACE-CORE01 / TenGigabitEthernet0/1/0 <-> CTAME-CORE01 / TenGigabitEthernet6/1/0	10000	Sim	21
BSACE-CORE01 / TenGigabitEthernet1/1/0 <-> BSACE-CORE02 / TenGigabitEthernet0/1/0	10000	Não	22
BSACE-CORE01 / TenGigabitEthernet2/1/0 <-> PAEMT-CORE01 / TenGigabitEthernet6/0/0	10000	Sim	23
BSACE-CORE01 / TenGigabitEthernet9/1/0 <-> BSACE-BORDER / TenGigabitEthernet1/0/0	10000	Sim	24
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet2/0/0 <-> CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet9/3/0	1000	Sim	25
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet2/0/2 <-> BSACE306 / GE-WAN8/2	1000	Sim	26
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet2/1/0 <-> GNACE304 / GigabitEthernet9/3	1000	Sim	27
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet2/1/2 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet7/3/0	1000	Sim	28
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet3/0 <-> GNACE303 / GigabitEthernet10/8	1000	Sim	29
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet3/1 <-> CBACE300 / GigabitEthernet1/3	1000	Sim	30
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/0/0 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/2/0	1000	Sim	31
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/0/1 <-> CBACE301 / GigabitEthernet1/1	1000	Sim	32
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/0/2 <-> CPECE301 / GigabitEthernet9/3	1000	Sim	33
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/1/0 <-> GNACE303 / GigabitEthernet10/3	1000	Sim	34
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/2/0 <-> GNACE304 / GigabitEthernet10/8	1000	Sim	35
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/2/1 <-> BSACE306 / GE-WAN8/4	1000	Sim	36
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet6/3/0 <-> CPECE300 / GigabitEthernet8/1	1000	Sim	37

BSACE-CORE02 / GigabitEthernet7/0/2 <-> BSACO300 / GigabitEthernet3/1	1000	Sim	38
BSACE-CORE02 / GigabitEthernet7/1/1 <-> CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet0/0/3	1000	Sim	39
BSACE-CORE02 / TenGigabitEthernet0/0/0 <-> CTAJE-CORE01 / TenGigabitEthernet6/1/0	10000	Sim	40
BSACO-BORDER / TenGigabitEthernet4/0/0 <-> BSACE-CORE02 / TenGigabitEthernet4/0/0	10000	Não	41
BSACO-BORDER / TenGigabitEthernet5/0/0 <-> BSACE-CORE01 / TenGigabitEthernet10/1/0	10000	Não	42
CTAJE300 / GigabitEthernet1/1 <-> CTAME-CORE01 / GigabitEthernet2/0/1	1000	Sim	43
CTAJE300 / GigabitEthernet2/2 <-> CTAME-CORE01 / GigabitEthernet9/1/1	1000	Sim	44
CTAJE300 / POS1/1 <-> LDAJC300 / POS11/1/0	147	Sim	45
CTAJE300 / POS2/3 <-> LDAJC301 / POS12/1/0	155	Sim	46
CTAJE-BORDER / TenGigabitEthernet1/1/0 <-> CTAME-CORE01 / TenGigabitEthernet0/1/0	10000	Não	47
CTAJE-BORDER / TenGigabitEthernet7/1/0 <-> CTAJE-CORE01 / TenGigabitEthernet0/1/0	10000	Não	48
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet0/0/2 <-> CTAME303 / GigabitEthernet6/1	1000	Sim	49
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet2/0/1 <-> CTAJE300 / GigabitEthernet1/3	1000	Sim	50
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet2/0/2 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet7/3/0	1000	Sim	51
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet5/0/1 <-> MGANM301B / GigabitEthernet1/1	1000	Sim	52
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet5/0/3 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet3/0/1	1000	Sim	53
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet6/0/0 <-> MGANM300B / GigabitEthernet1/4	1000	Sim	54
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet6/0/1 <-> CTAME303 / GE-WAN7/4	1000	Sim	55
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet6/0/2 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet0/3/0	1000	Sim	56
CTAJE-CORE01 / GigabitEthernet9/1/1 <-> CTAJE300 / GigabitEthernet2/1	1000	Sim	57
CTAJE-CORE01 / TenGigabitEthernet1/1/0 <-> PAEMT-CORE02 / TenGigabitEthernet6/0/0	10000	Sim	58
CTAJE-CORE01 / TenGigabitEthernet2/1/0 <-> CTAME-CORE01 / TenGigabitEthernet2/1/0	10000	Não	59
CTAME303 / POS8/1 <-> LDAJC300 / POS12/1/0	147	Sim	60
CTAME303 / POS8/3 <-> LDAJC301 / POS0/1/0	155	Sim	61
CTAME-BORDER / TenGigabitEthernet1/1/0 <-> CTAME-CORE01 / TenGigabitEthernet5/1/0	10000	Não	62
CTAME-BORDER / TenGigabitEthernet7/1/0 <-> CTAJE-CORE01 / TenGigabitEthernet5/1/0	10000	Não	63
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet0/0/2 <-> CTAME303 / GigabitEthernet3/4	1000	Sim	64
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet0/0/3 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/1/2	1000	Sim	65
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet2/0/2 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/3/0	1000	Sim	66
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet5/0/1 <-> MGANM301B / GigabitEthernet1/4	1000	Sim	67
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet6/0/0 <-> MGANM300B / GigabitEthernet1/1	1000	Sim	68
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet6/0/1 <-> CTAME303 / GE-WAN7/3	1000	Sim	69
CTAME-CORE01 / GigabitEthernet6/0/2 <-> FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet7/3/0	1000	Sim	70
CTAME-CORE01 / TenGigabitEthernet1/1/0 <-> PAEMT-CORE01 / TenGigabitEthernet4/0/0	10000	Sim	71
FNSCE300 / GigabitEthernet7/1 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet3/0/0	1000	Sim	72
FNSCE300 / GigabitEthernet9/1 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet0/2/2	1000	Sim	73
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/0 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet3/3/0	1000	Não	74
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/1 <-> FNSES-CORE01 / GigabitEthernet0/0/1	1000	Não	75
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet1/0/2 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet7/1/2	1000	Sim	76
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/0/0 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet2/1/2	1000	Sim	77
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/0/1 <-> FNSES300 / GigabitEthernet5/4	1000	Sim	78
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/1/0 <-> FNSCE300 / GigabitEthernet7/2	1000	Sim	79
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet3/1/1 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet3/2/0	1000	Sim	80
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet7/0/1 <-> FNSCE300 / GE-WAN8/1	1000	Sim	81
FNSCE-CORE01 / GigabitEthernet7/2/1 <-> FNSES300 / GigabitEthernet4/2	1000	Sim	82
FNSES-CORE01 / GigabitEthernet0/2/1 <-> FNSES300 / GigabitEthernet4/4	1000	Sim	83
FNSES-CORE01 / GigabitEthernet5/0/1 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/1/2	1000	Sim	84
FNSES-CORE01 / GigabitEthernet7/0/2 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/2/1	1000	Sim	85
FNSES-CORE01 / GigabitEthernet7/2/0 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/1/1	1000	Sim	86
FNSES-CORE01 / GigabitEthernet7/2/1 <-> FNSES300 / GigabitEthernet5/2	1000	Sim	87
PAEBV302 / GigabitEthernet13/3 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet7/0/1	1000	Sim	88
PAEBV302 / GigabitEthernet2/3 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet7/0/1	1000	Sim	89
PAEBV302 / GigabitEthernet7/1 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet2/0/1	1000	Sim	90
PAEBV302 / GigabitEthernet8/1 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/0/1	1000	Sim	91

PAEBV-BORDER / GigabitEthernet6/0/0 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet2/0/0	1000	Não	92
PAEBV-BORDER / GigabitEthernet6/1/0 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet3/1/1	1000	Não	93
PAEBV-BORDER / GigabitEthernet6/3/0 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet7/0/0	1000	Não	94
PAEBV-BORDER / GigabitEthernet7/0/0 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/0/0	1000	Não	95
PAEBV-BORDER / GigabitEthernet7/1/0 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet0/1/1	1000	Não	96
PAEBV-BORDER / GigabitEthernet7/1/2 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet7/0/0	1000	Não	97
PAEMT-BORDER / GigabitEthernet6/0/0 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet7/1/1	1000	Não	98
PAEMT-BORDER / GigabitEthernet6/0/1 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet7/1/1	1000	Não	99
PAEMT-BORDER / GigabitEthernet6/0/2 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet2/1/1	1000	Não	100
PAEMT-BORDER / GigabitEthernet6/1/0 <-> PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet2/3/0	1000	Não	101
PAEMT-BORDER / GigabitEthernet6/1/2 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/3/0	1000	Não	102
PAEMT-BORDER / GigabitEthernet6/2/0 <-> PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/1/0	1000	Não	103
PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet2/0/2 <-> PAEMT302 / GigabitEthernet1/3	1000	Sim	104
PAEMT-CORE01 / GigabitEthernet3/1/2 <-> PAEMT302 / GigabitEthernet7/1	1000	Sim	105
PAEMT-CORE01 / TenGigabitEthernet4/1/0 <-> PAEMT-CORE02 / TenGigabitEthernet4/1/0	10000	Não	106
PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet0/2/2 <-> PAEMT302 / GigabitEthernet8/1	1000	Sim	107
PAEMT-CORE02 / GigabitEthernet2/0/2 <-> PAEMT302 / GigabitEthernet2/1	1000	Sim	108

Os Gráficos da Figura 6-6 e 6-7 apresentam, baseado na Tabela 6-13, a utilização média dos enlaces no sentido esquerda para direita (*forward* – ida) e no sentido direita para esquerda (*return* – volta), respectivamente, após inserção dos fluxos de voz provenientes da rede RTPC. Vale lembrar que o limiar de utilização dos enlaces do *backbone* IP em análise, estabelecido pelo provedor de serviço, é de 50% de utilização.

Para o CODEC G.711, entre os 65 enlaces com utilização acima de 50%, dois extrapolaram a própria largura de banda: CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0 e CTAME303 POS8/1 → LDAJC300 POS12/1/0. Os enlaces apresentaram 127,37% e 127,76% de utilização (sentido ida – *forward*), com picos de 134,21% e 135,08% respectivamente.

Por outro lado, com o uso do CODEC G.729A, os dois enlaces que mais se destacaram pela alta utilização foram CTAJE-CORE01 GigabitEthernet2/0/2 → FNSES-CORE01 GigabitEthernet7/3/0 e CTAJE-CORE01 GigabitEthernet5/0/3 → FNSES-CORE01 GigabitEthernet3/0/1, com 83,09% e 82,06% de utilização e 84,5% e 84,97 % de pico (sentido ida – *forward*), respectivamente.

A Tabela 6-14, baseada nos resultados apresentados nos Gráficos 6-6 e 6-7, informa o percentual de enlaces (do total de 108 enlaces) que ultrapassam o limiar de 50% de utilização.

Tabela 6-14: Percentual de Enlaces com utilização acima de 50%

CODEC	NÚMERO DE ENLACES	PERCENTUAL DE ENLACES
G.711	65	60,12%
G.729A	58	53,70%

Como o número de enlaces acima do limiar de 50% de utilização é alto, a premissa de redundância entre os enlaces em paralelo fica prejudicada.

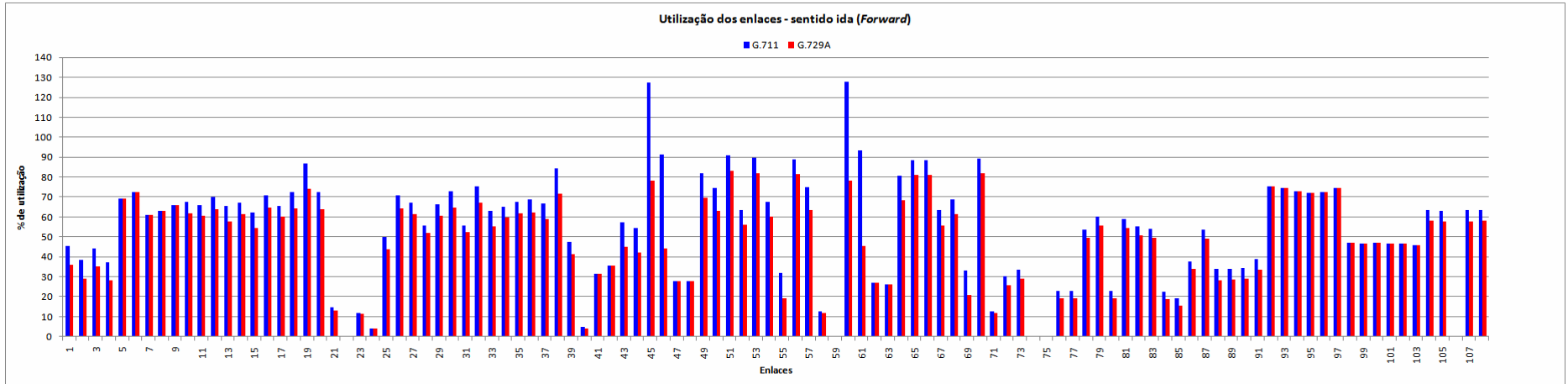


Figura 6-6: Utilização dos enlaces da rede IP com fluxos de voz – sentido ida

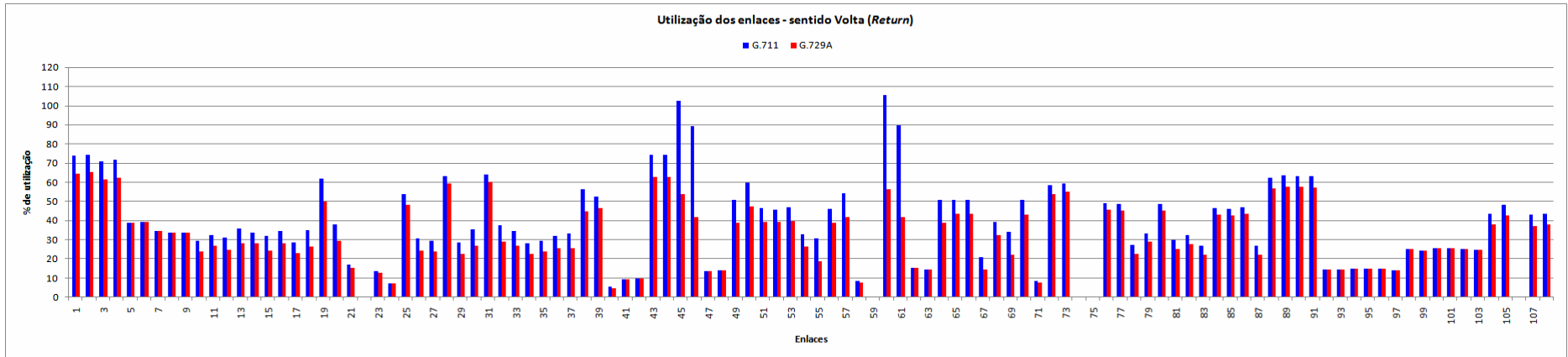


Figura 6-7: Utilização dos enlaces da rede IP com fluxos de voz – sentido volta

A Tabela 6-15 detalha a análise dos enlaces CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0 e CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0, que apresentaram mais de 100% de utilização para os pacotes com voz codificados via CODEC G.711. Observa-se que a Tabela 6-15 apresenta o percentual de utilização da largura de banda por cada um dos fluxos de voz presentes nos enlaces em questão, tanto para o CODEC G.711 quanto para G.729A.

Tabela 6-15: Fluxos de voz enlace CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0 e CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0

CTAME303 POS8/1 → LDAJC300 POS12/1/0					CTAJE300 POS1/1 → LDAJC300 POS11/1/0						
Nome do Fluxo	Classe de Serviço	Volume do Fluxo (bits/s)		Utilização (% da largura de banda do enlace)		Nome do Fluxo	Classe de Serviço	Volume do Fluxo (bits/s)		Utilização (% da largura de banda do enlace)	
		G.711	G.729A	G.711	G.729A			G.711	G.729A	G.711	G.729A*
Tráfego já existente no enlace	-	56660000	56660000	38.54	38.54	Tráfego já existente no enlace		56700000	56700000	38.57	38.57
CTAME303→LDAJC300	EF	105134400	46726400	71.52	31.79	CTAJE300→LDAJC300	EF	104328000	46368000	70.97	31.54
BNUT3300→LDAJC300	EF	10483200	4659200	7.13	3.17	BNUT3300→LDAJC300	EF	10483200	4659200	7.13	3.17
FNSCE300→LDAJC300	EF	9576000	4256000	6.51	2.9	FNSCE300→LDAJC300	EF	9576000	4256000	6.51	2.9
MGANM300B→LDAJC300	EF	7005600	3113600	4.77	2.12	MGANM300B→LDAJC300	EF	7005600	3113600	4.77	2.12
CPECE300→LDAJC300	EF	5997600	2665600	4.08	1.81	CPECE300→LDAJC300	EF	5997600	2665600	4.08	1.81
CBACE300→LDAJC300	EF	6048000	2688000	4.11	1.83	CBACE300→LDAJC300	EF	6048000	2688000	4.11	1.83
PAEMT302→LDAJC300	EF	3981600	1747200	2.71	1.19	PAEMT302→LDAJC300	EF	3981600	1769600	2.71	1.2
PAEBV302→LDAJC300	EF	3931200	1769600	2.67	1.2	PAEBV302→LDAJC300	EF	3931200	1747200	2.67	1.19
GNACE303→LDAJC300	EF	504000	224000	0.34	0.15	GNACE303→LDAJC300	EF	504000	224000	0.34	0.15

A Tabela 6-15 informa ainda que os fluxos que mais utilizam a banda do enlace em análise são os fluxos iniciados nos próprios roteadores, CTAME303 e CTAJE300. Baseado na Tabela 6-15 é possível constatar ainda que se o CODEC G.729A for escolhido, a utilização dos enlaces cai consideravelmente. Entretanto, antes de optar pelo uso do CODEC G.729A é necessário verificar se a qualidade da voz é aceitável. Esta verificação pode ser realizada através da análise dos valores MOS, apresentada na seção 6.3.4.

A Tabela 6-15 traz informações sobre os enlaces com maior utilização com referência ao CODEC G.711. Por outro lado, a Tabela 6-16 apresenta informações sobre os enlaces com maior utilização com referência ao CODEC G.729A.

Tabela 6-16: Fluxos de voz enlace CTAJE-CORE01 GigabitEthernet2/0/2 → FNSES-CORE01 GigabitEthernet 7/3/0 e CTAJE-CORE01 GigabitEthernet 5/0/3 → FNSES-CORE01 GigabitEthernet 3/0/1

CTAJE-CORE01 GigabitEthernet2/0/2 -> FNSES-CORE01 GigabitEthernet 7/3/0						CTAJE-CORE01 GigabitEthernet 5/0/3 -> FNSES-CORE01 GigabitEthernet 3/0/1					
Nome do Fluxo	Classe de Serviço	Volume do Fluxo (bits/s)		Utilização (% da largura de banda do enlace)		Nome do Fluxo	Classe de Serviço	Volume do Fluxo (bits/s)		Utilização (% da largura de banda do enlace)	
		G.729A	G.711	G.729A	G.711			G.729A	G.711	G.729A	G.711
Tráfego já existente no enlace		739.450.000	739.450.000	73,94	73,94	Tráfego já existente no enlace		729.160.000	729.160.000	72,92	72,92
CTAJE300-->BNUT3301B	EF	8.411.200	15.420.533	0,84	1,54	CTAJE300-->BNUT3301B	EF	8.411.200	15.420.533	0,84	1,54
CTAME303-->FNSECE300	EF	7.694.400	14.106.400	0,77	1,41	CTAME303-->FNSECE300	EF	7.694.400	14.106.400	0,77	1,41
CTAJE300-->BNUT3300	EF	8.243.200	15.112.533	0,82	1,51	CTAJE300-->BNUT3300	EF	8.243.200	15.112.533	0,82	1,51
CTAME303-->BNUT3301B	EF	8.713.600	15.974.933	0,87	1,6	CTAME303-->BNUT3301B	EF	8.713.600	15.974.933	0,87	1,6
CTAME303-->FNSES300	EF	8.008.000	14.681.333	0,80	1,47	CTAME303-->FNSES300	EF	8.008.000	14.681.333	0,8	1,47
CTAJE300-->FNSECE300	EF	8.052.800	14.763.467	0,81	1,48	CTAJE300-->FNSECE300	EF	8.052.800	14.763.467	0,81	1,48
CTAJE300-->FNSES300	EF	8.276.800	15.174.133	0,83	1,52	CTAJE300-->FNSES300	EF	8.276.800	15.174.133	0,83	1,52
CTAME303-->BNUT3300	EF	8.377.600	15.358.933	0,84	1,54	CTAME303-->BNUT3300	EF	8.377.600	15.358.933	0,84	1,54
LDAJC300-->BNUT3300	EF	2.352.000	4.312.000	0,24	0,43	LDAJC300-->BNUT3300	EF	2.352.000	4.312.000	0,24	0,43
MGANM300B-->BNUT3300	EF	2.251.200	4.127.200	0,23	0,41	MGANM300B-->BNUT3300	EF	2.251.200	4.127.200	0,23	0,41
LDAJC301-->BNUT3301B	EF	2.307.200	4.229.867	0,23	0,42	LDAJC301-->BNUT3301B	EF	2.307.200	4.229.867	0,23	0,42
MGANM301B-->BNUT3301B	EF	2.016.000	3.696.000	0,20	0,37	MGANM301B-->BNUT3301B	EF	2.016.000	3.696.000	0,2	0,37
LDAJC301-->FNSES300	EF	2.284.800	4.188.800	0,23	0,42	LDAJC301-->FNSES300	EF	2.284.800	4.188.800	0,23	0,42
MGANM301B-->FNSES300	EF	1.982.400	3.634.400	0,20	0,36	MGANM301B-->FNSES300	EF	1.982.400	3.634.400	0,2	0,36
LDAJC300-->FNSECE300	EF	2.128.000	3.901.333	0,21	0,39	LDAJC300-->FNSECE300	EF	2.128.000	3.901.333	0,21	0,39
MGANM300B-->FNSECE300	EF	2.184.000	4.004.000	0,22	0,4	MGANM300B-->FNSECE300	EF	2.184.000	4.004.000	0,22	0,4
GNACE303-->BNUT3300	EF	1.505.280	2.759.680	0,15	0,28	GNACE303-->BNUT3300	EF	1.505.280	2.759.680	0,15	0,28
GNACE303-->BNUT3301B	EF	1.290.240	2.365.440	0,13	0,24	GNACE303-->BNUT3301B	EF	1.290.240	2.365.440	0,13	0,24
GNACE304-->BNUT3300	EF	1.330.560	2.439.360	0,13	0,24	GNACE304-->BNUT3300	EF	1.330.560	2.439.360	0,13	0,24
GNACE304-->BNUT3301B	EF	1.431.360	2.624.160	0,14	0,26	GNACE304-->BNUT3301B	EF	1.431.360	2.624.160	0,14	0,26
GNACE303-->FNSECE300	EF	1.256.640	2.303.840	0,13	0,23	GNACE303-->FNSECE300	EF	1.256.640	2.303.840	0,13	0,23
GNACE303-->FNSES300	EF	1.256.640	2.303.840	0,13	0,23	GNACE303-->FNSES300	EF	1.256.640	2.303.840	0,13	0,23
GNACE304-->FNSES300	EF	1.249.920	2.291.520	0,12	0,23	GNACE304-->FNSES300	EF	1.249.920	2.291.520	0,12	0,23
GNACE304-->FNSECE300	EF	1.182.720	2.168.320	0,12	0,22	GNACE304-->FNSECE300	EF	1.182.720	2.168.320	0,12	0,22
BSACO300-->BNUT3301B	EF	705.600	1.293.600	0,07	0,13	BSACO300-->BNUT3301B	EF	705.600	1.293.600	0,07	0,13
BSACO300-->BNUT3300	EF	705.600	1.293.600	0,07	0,13	BSACO300-->BNUT3300	EF	705.600	1.293.600	0,07	0,13
BSACO300-->FNSECE300	EF	624.960	1.145.760	0,06	0,11	BSACO300-->FNSECE300	EF	624.960	1.145.760	0,06	0,11
BSACO300-->FNSES300	EF	577.920	1.059.520	0,06	0,11	BSACO300-->FNSES300	EF	577.920	1.059.520	0,06	0,11
BSACE306-->BNUT3301B	EF	537.600	985.600	0,05	0,1	BSACE306-->BNUT3301B	EF	537.600	985.600	0,05	0,1
BSACE306-->FNSECE300	EF	571.200	1.047.200	0,06	0,1	BSACE306-->FNSECE300	EF	571.200	1.047.200	0,06	0,1
BSACE306-->BNUT3300	EF	490.560	899.360	0,05	0,09	BSACE306-->BNUT3300	EF	490.560	899.360	0,05	0,09
BSACE306-->FNSES300	EF	557.760	1.022.560	0,06	0,1	BSACE306-->FNSES300	EF	557.760	1.022.560	0,06	0,1
CBACE301-->FNSES300	EF	430.080	788.480	0,04	0,08	CBACE301-->FNSES300	EF	430.080	788.480	0,04	0,08
CPECE301-->BNUT3301B	EF	376.320	689.920	0,04	0,07	CPECE301-->BNUT3301B	EF	376.320	689.920	0,04	0,07
CBACE301-->BNUT3301B	EF	376.320	689.920	0,04	0,07	CBACE301-->BNUT3301B	EF	376.320	689.920	0,04	0,07
CBACE300-->FNSECE300	EF	403.200	739.200	0,04	0,07	CBACE300-->FNSECE300	EF	403.200	739.200	0,04	0,07
CPECE301-->FNSES300	EF	349.440	640.640	0,03	0,06	CPECE301-->FNSES300	EF	349.440	640.640	0,03	0,06
CBACE300-->BNUT3300	EF	423.360	776.160	0,04	0,08	CBACE300-->BNUT3300	EF	423.360	776.160	0,04	0,08
CPECE300-->BNUT3300	EF	376.320	689.920	0,04	0,07	CPECE300-->BNUT3300	EF	376.320	689.920	0,04	0,07
CPECE300-->FNSECE300	EF	396.480	726.880	0,04	0,07	CPECE300-->FNSECE300	EF	396.480	726.880	0,04	0,07

Mesmo com o uso do CODEC G.729A, os enlaces da Tabela 6-16 apresentam mais de 50% de utilização. Isso se deve ao fato do enlace apresentar taxa de utilização acima de

50% antes da importação do tráfego de voz da RTPC. Uma sugestão de solução seria ampliar o número de enlaces existentes entre os roteadores em questão.

Diante do alto volume de informação acessível através da análise das Tabelas 6-15 e 6-16, foi elaborada a Tabela 6-17 com o intuito de verificar qual componente da taxa de utilização dos enlaces (tráfego de dados ou fluxos de voz) apresenta maior demanda por largura de banda. Se um determinado fluxo de voz demandar mais largura de banda do enlace do que o tráfego de dados, é possível adotar um CODEC que utilize menos banda. Entretanto, é sempre importante lembrar que quanto menos banda um CODEC utilizar maior será as chances de insatisfação quanto à qualidade de voz da chamada. Se a análise da Tabela 6-17 determinar que o ofensor de utilização do enlace for o tráfego de dados, então será necessário aumentar a banda do enlace ou acrescentar mais um enlace, paralelo aos já existentes, e dividir a banda igualmente entre todos os enlaces

Tabela 6-17: Taxa de Utilização dos Enlaces da rede IP

Nome do Enlace	Utilização Fwd (%)						Utilização Rtn (%)					
	Dados		VoIP		Total		Dados		VoIP		Total	
	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A
BNUT3300GigabitEthernet1/1 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/0/0	25,12	25,12	20,34	11,09	45,46	36,22	53,3	53,3	20,4	11,12	73,7	64,43
BNUT3300GigabitEthernet7/2 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet0/0/0	18	18	20,34	11,09	38,34	29,09	54,01	54,01	20,4	11,12	74,41	65,14
BNUT3301BGigabitEthernet1/1 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/0/2	24,22	24,22	20,12	10,97	44,34	35,2	50,37	50,37	20,58	11,23	70,95	61,59
BNUT3301BGigabitEthernet7/2 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/0/2	17,18	17,18	20,12	10,97	37,3	28,15	51,04	51,04	20,58	11,23	71,62	62,27
BSACE-BORDERGigabitEthernet1/1/2 <-> BSACE-CORE01GigabitEthernet1/0/2	69,14	69,14	0	0	69,14	69,14	38,87	38,87	0	0	38,87	38,87
BSACE-BORDERGigabitEthernet2/1/2 <-> BSACE-CORE01GigabitEthernet10/0/3	72,62	72,62	0	0	72,62	72,62	39,31	39,31	0	0	39,31	39,31
BSACE-BORDERGigabitEthernet3/1 <-> BSACE-CORE02GigabitEthernet3/2	61,16	61,16	0	0	61,16	61,16	34,42	34,42	0	0	34,42	34,42
BSACE-BORDERGigabitEthernet7/0/0 <-> BSACE-CORE02GigabitEthernet7/0/0	62,84	62,84	0	0	62,84	62,84	33,78	33,78	0	0	33,78	33,78
BSACE-BORDERGigabitEthernet7/1/0 <-> BSACE-CORE02GigabitEthernet2/1/1	65,72	65,72	0	0	65,72	65,72	33,83	33,83	0	0	33,83	33,83
BSACE-CORE01GigabitEthernet0/0/3 <-> GNACE304GigabitEthernet10/3	55,24	55,24	12,37	6,75	67,61	61,98	17,43	17,43	12,23	6,67	29,66	24,1
BSACE-CORE01GigabitEthernet0/0/4 <-> GNACE303GigabitEthernet9/2	53,82	53,82	12,06	6,58	65,88	60,39	20,22	20,22	12,38	6,76	32,6	26,97
BSACE-CORE01GigabitEthernet1/0/0 <-> BSACE306GE-WAN7/1	56,13	56,13	14,01	7,64	70,14	63,77	17,26	17,26	14,1	7,69	31,37	24,96
BSACE-CORE01GigabitEthernet1/0/3 <-> CPECE300GigabitEthernet9/3	48,49	48,49	17,13	9,34	65,62	57,83	18,68	18,68	17,41	9,5	36,09	28,18
BSACE-CORE01GigabitEthernet1/0/4 <-> GNACE304GigabitEthernet9/2	54,63	54,63	12,37	6,75	67,01	61,38	21,36	21,36	12,23	6,67	33,59	28,03
BSACE-CORE01GigabitEthernet10/0/0 <-> CPECE301GigabitEthernet8/1	45,23	45,23	16,88	9,21	62,11	54,43	15,28	15,28	16,96	9,25	32,24	24,53
BSACE-CORE01GigabitEthernet10/0/2 <-> BSACE306GE-WAN7/4	56,9	56,9	14,01	7,64	70,92	64,55	20,3	20,3	14,1	7,69	34,4	27,99
BSACE-CORE01GigabitEthernet2/0/2 <-> GNACE303GigabitEthernet9/3	53,53	53,53	12,06	6,58	65,59	60,11	16,13	16,13	12,38	6,76	28,51	22,88
BSACE-CORE01GigabitEthernet2/0/4 <-> CBACE301GigabitEthernet1/2	54,49	54,49	17,85	9,74	72,34	64,23	16,51	16,51	18,46	10,07	34,97	26,58
BSACE-CORE01GigabitEthernet9/0/2 <-> BSACE300GigabitEthernet1/1	58,68	58,68	28,15	15,35	86,82	74,03	35,78	35,78	25,99	14,18	61,77	49,96
BSACE-CORE01GigabitEthernet9/0/4 <-> CBACE300GigabitEthernet1/1	53,95	53,95	18,39	10,03	72,34	63,98	19,38	19,38	18,76	10,23	38,15	29,62
BSACE-CORE01TenGigabitEthernet0/1/0 <-> CTAME-CORE01TenGigabitEthernet6/1/0	11,12	11,12	3,7	2,02	14,82	13,14	13,23	13,23	3,7	2,02	16,93	15,25
BSACE-CORE01TenGigabitEthernet1/1/0 <-> BSACE-CORE02TenGigabitEthernet0/1/0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0	0	0,01	0,01
BSACE-CORE01TenGigabitEthernet2/1/0 <-> PAEMT-CORE01TenGigabitEthernet6/0/0	10,33	10,33	1,7	0,93	12,03	11,26	11,87	11,87	1,73	0,94	13,6	12,81
BSACE-CORE01TenGigabitEthernet9/1/0 <-> BSACE-BORDERTenGigabitEthernet1/0/0	4	4	0	0	4	4	7,27	7,27	0	0	7,27	7,27
BSACE-CORE02GigabitEthernet2/0/0 <-> CTAJE-CORE01GigabitEthernet9/3/0	36,9	36,9	12,87	7,02	49,77	43,92	41,46	41,46	12,34	6,73	53,79	48,19
BSACE-CORE02GigabitEthernet2/0/2 <-> BSACE306GE-WAN8/2	56,66	56,66	14,01	7,64	70,67	64,31	16,81	16,81	14,1	7,69	30,91	24,5
BSACE-CORE02GigabitEthernet2/1/0 <-> GNACE304GigabitEthernet9/3	54,72	54,72	12,37	6,75	67,09	61,47	17,18	17,18	12,23	6,67	29,42	23,86
BSACE-CORE02GigabitEthernet2/1/2 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet7/3/0	47,88	47,88	7,71	4,21	55,59	52,09	54,53	54,53	8,64	4,71	63,17	59,24

BSACE-CORE02GigabitEthernet3/0 <-> GNACE303GigabitEthernet10/8	54,17	54,17	12,06	6,58	66,23	60,75	16,03	16,03	12,38	6,76	28,41	22,78
BSACE-CORE02GigabitEthernet3/1 <-> CBACE300GigabitEthernet1/3	54,66	54,66	18,39	10,03	73,05	64,69	16,84	16,84	18,76	10,23	35,61	27,08
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/0/0 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/2/0	48,04	48,04	7,71	4,21	55,75	52,24	55,54	55,54	8,64	4,71	64,18	60,25
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/0/1 <-> CBACE301GigabitEthernet1/1	57,54	57,54	17,85	9,74	75,39	67,28	18,93	18,93	18,46	10,07	37,39	29
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/0/2 <-> CPECE301GigabitEthernet9/3	46,07	46,07	16,88	9,21	62,95	55,28	17,76	17,76	16,96	9,25	34,72	27,01
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/1/0 <-> GNACE303GigabitEthernet10/3	53,08	53,08	12,06	6,58	65,14	59,66	15,88	15,88	12,38	6,76	28,27	22,64
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/2/0 <-> GNACE304GigabitEthernet10/8	55,18	55,18	12,37	6,75	67,56	61,93	17,45	17,45	12,23	6,67	29,68	24,12
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/2/1 <-> BSACE306GE-WAN8/4	54,65	54,65	14,01	7,64	68,66	62,29	17,78	17,78	14,1	7,69	31,88	25,47
BSACE-CORE02GigabitEthernet6/3/0 <-> CPECE300GigabitEthernet8/1	49,45	49,45	17,13	9,34	66,58	58,8	15,96	15,96	17,41	9,5	33,38	25,46
BSACE-CORE02GigabitEthernet7/0/2 <-> BSACO300GigabitEthernet3/1	56,16	56,16	28,15	15,35	84,3	71,51	30,47	30,47	25,99	14,18	56,46	44,65
BSACE-CORE02GigabitEthernet7/1/1 <-> CTAJE-CORE01GigabitEthernet0/0/3	34,51	34,51	12,87	7,02	47,38	41,53	40,01	40,01	12,34	6,73	52,35	46,74
BSACE-CORE02TenGigabitEthernet0/0/0 <-> CTAJE-CORE01TenGigabitEthernet6/1/0	3,53	3,53	1,29	0,7	4,82	4,23	4,12	4,12	1,23	0,67	5,36	4,8
BSACO-BORDERTenGigabitEthernet4/0/0 <-> BSACE-CORE02TenGigabitEthernet4/0/0	31,35	31,35	0	0	31,35	31,35	9,32	9,32	0	0	9,32	9,32
BSACO-BORDERTenGigabitEthernet5/0/0 <-> BSACE-CORE01TenGigabitEthernet10/1/0	35,46	35,46	0	0	35,46	35,46	9,89	9,89	0	0	9,89	9,89
CTAJE300GigabitEthernet1/1 <-> CTAME-CORE01GigabitEthernet2/0/1	29,84	29,84	27,53	15,02	57,37	44,86	48,82	48,82	25,61	13,97	74,43	62,79
CTAJE300GigabitEthernet2/2 <-> CTAME-CORE01GigabitEthernet9/1/1	27	27	27,53	15,02	54,54	42,02	48,77	48,77	25,61	13,97	74,39	62,74
CTAJE300POS1/1 <-> LDAJC300POS11/1/0	38,57	38,57	88,8	39,47	127,37	78,04	14,72	14,72	87,67	38,96	102,39	53,68
CTAJE300POS2/3 <-> LDAJC301POS12/1/0	6,43	6,43	85,03	37,79	91,46	44,22	4,15	4,15	85	37,78	89,15	41,93
CTAJE-BORDERTenGigabitEthernet1/1/0 <-> CTAME-CORE01TenGigabitEthernet0/1/0	28,03	28,03	0	0	28,03	28,03	13,85	13,85	0	0	13,85	13,85
CTAJE-BORDERTenGigabitEthernet7/1/0 <-> CTAJE-CORE01TenGigabitEthernet0/1/0	27,95	27,95	0	0	27,95	27,95	13,91	13,91	0	0	13,91	13,91
CTAJE-CORE01GigabitEthernet0/0/2 <-> CTAME303GigabitEthernet6/1	54,77	54,77	27,11	14,79	81,88	69,55	24,13	24,13	26,89	14,67	51,02	38,8
CTAJE-CORE01GigabitEthernet2/0/1 <-> CTAJE300GigabitEthernet1/3	49,06	49,06	25,61	13,97	74,67	63,03	32,2	32,2	27,53	15,02	59,74	47,22
CTAJE-CORE01GigabitEthernet2/0/2 <-> FNSSES-CORE01GigabitEthernet7/3/0	73,95	73,95	16,77	9,15	90,71	83,09	30,24	30,24	16,36	8,92	46,6	39,17
CTAJE-CORE01GigabitEthernet5/0/1 <-> MGANM301BGigabitEthernet1/1	47,12	47,12	16,42	8,96	63,54	56,07	31,16	31,16	14,65	7,99	45,81	39,15
CTAJE-CORE01GigabitEthernet5/0/3 <-> FNSSES-CORE01GigabitEthernet3/0/1	72,92	72,92	16,77	9,15	89,68	82,06	30,72	30,72	16,36	8,92	47,08	39,65
CTAJE-CORE01GigabitEthernet6/0/0 <-> MGANM300BGigabitEthernet1/4	51,29	51,29	16,23	8,85	67,51	60,14	18,38	18,38	14,49	7,9	32,87	26,28
CTAJE-CORE01GigabitEthernet6/0/1 <-> CTAME303GE-WAN7/4	4,64	4,64	27,11	14,79	31,74	19,42	4,07	4,07	26,89	14,67	30,95	18,73
CTAJE-CORE01GigabitEthernet6/0/2 <-> FNSSES-CORE01GigabitEthernet0/3/0	72,23	72,23	16,77	9,15	89	81,38	29,93	29,93	16,36	8,92	46,28	38,85
CTAJE-CORE01GigabitEthernet9/1/1 <-> CTAJE300GigabitEthernet2/1	49,45	49,45	25,61	13,97	75,06	63,42	26,9	26,9	27,53	15,02	54,43	41,92
CTAJE-CORE01TenGigabitEthernet1/1/0 <-> PAEMT-CORE02TenGigabitEthernet6/0/0	10,82	10,82	1,87	1,02	12,69	11,84	6,65	6,65	1,85	1,01	8,5	7,66
CTAME303POS8/1 <-> LDAJC300POS12/1/0	38,54	38,54	89,21	39,65	127,76	78,19	17,2	17,2	88,08	39,15	105,28	56,35
CTAME303POS8/3 <-> LDAJC301POS0/1/0	7,05	7,05	86,14	38,28	93,19	45,33	3,61	3,61	86,1	38,27	89,72	41,88

CTAME-BORDERTenGigabitEthernet1/1/0 <-> CTAME-CORE01TenGigabitEthernet5/1/0	26,98	26,98	0	0	26,98	26,98	15,56	15,56	0	0	15,56	15,56
CTAME-BORDERTenGigabitEthernet7/1/0 <-> CTAJE-CORE01TenGigabitEthernet5/1/0	26,29	26,29	0	0	26,29	26,29	14,61	14,61	0	0	14,61	14,61
CTAME-CORE01GigabitEthernet0/0/2 <-> CTAME303GigabitEthernet3/4	53,41	53,41	27,11	14,79	80,52	68,2	24,06	24,06	26,89	14,67	50,94	38,72
CTAME-CORE01GigabitEthernet0/0/3 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/1/2	72,19	72,19	16,25	8,86	88,44	81,06	34,56	34,56	16,36	8,92	50,92	43,48
CTAME-CORE01GigabitEthernet2/0/2 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/3/0	72,37	72,37	16,25	8,86	88,62	81,23	34,62	34,62	16,36	8,92	50,98	43,55
CTAME-CORE01GigabitEthernet5/0/1 <-> MGANM301BGigabitEthernet1/4	46,9	46,9	16,42	8,96	63,32	55,85	6,37	6,37	14,65	7,99	21,03	14,37
CTAME-CORE01GigabitEthernet6/0/0 <-> MGANM300BGigabitEthernet1/1	52,58	52,58	16,23	8,85	68,8	61,43	24,62	24,62	14,49	7,9	39,1	32,52
CTAME-CORE01GigabitEthernet6/0/1 <-> CTAME303GE-WAN7/3	6,1	6,1	27,11	14,79	33,21	20,89	7,39	7,39	26,89	14,67	34,27	22,05
CTAME-CORE01GigabitEthernet6/0/2 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/3/0	72,88	72,88	16,25	8,86	89,13	81,74	34,43	34,43	16,36	8,92	50,79	43,35
CTAME-CORE01TenGigabitEthernet1/1/0 <-> PAEMT-CORE01TenGigabitEthernet4/0/0	10,85	10,85	1,87	1,02	12,73	11,87	6,78	6,78	1,85	1,01	8,63	7,79
FNSCE300GigabitEthernet7/1 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/0/0	20,25	20,25	10,02	5,47	30,27	25,72	48,6	48,6	9,78	5,33	58,37	53,93
FNSCE300GigabitEthernet9/1 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet0/2/2	23,51	23,51	10,02	5,47	33,53	28,98	49,64	49,64	9,78	5,33	59,42	54,98
FNSCE-CORE01GigabitEthernet1/0/0 <-> FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/3/0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FNSCE-CORE01GigabitEthernet1/0/2 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet7/1/2	15,08	15,08	7,9	4,31	22,98	19,39	41,23	41,23	7,9	4,31	49,13	45,54
FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/0/0 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet2/1/2	14,97	14,97	7,9	4,31	22,87	19,28	40,8	40,8	7,9	4,31	48,7	45,11
FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/0/1 <-> FNSCE300GigabitEthernet5/4	44,07	44,07	9,75	5,32	53,83	49,39	17,24	17,24	9,93	5,42	27,17	22,66
FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/1/0 <-> FNSCE300GigabitEthernet7/2	50,39	50,39	9,78	5,33	60,17	55,73	23,48	23,48	10,02	5,47	33,5	28,95
FNSCE-CORE01GigabitEthernet3/1/1 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet3/2/0	14,82	14,82	7,9	4,31	22,73	19,13	40,82	40,82	7,9	4,31	48,72	45,13
FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/0/1 <-> FNSCE300GE-WAN8/1	49,28	49,28	9,78	5,33	59,06	54,61	19,94	19,94	10,02	5,47	29,96	25,4
FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/2/1 <-> FNSCE300GigabitEthernet4/2	45,42	45,42	9,75	5,32	55,18	50,74	22,52	22,52	9,93	5,42	32,44	27,93
FNSCE-CORE01GigabitEthernet0/2/1 <-> FNSCE300GigabitEthernet4/4	44,38	44,38	9,75	5,32	54,13	49,7	16,92	16,92	9,93	5,42	26,85	22,34
FNSCE-CORE01GigabitEthernet5/0/1 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/1/2	14,57	14,57	7,9	4,31	22,47	18,88	39,07	39,07	7,38	4,03	46,46	43,1
FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/0/2 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/2/1	11,28	11,28	7,9	4,31	19,19	15,59	38,81	38,81	7,38	4,03	46,2	42,84
FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/2/0 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/1/1	29,84	29,84	7,9	4,31	37,74	34,15	39,57	39,57	7,38	4,03	46,96	43,6
FNSCE-CORE01GigabitEthernet7/2/1 <-> FNSCE300GigabitEthernet5/2	43,88	43,88	9,75	5,32	53,63	49,2	16,79	16,79	9,93	5,42	26,72	22,2
MGANM300BGigabitEthernet8/1 <-> MGANM301BGigabitEthernet8/1	0,02	0,02	0	0	0,02	0,02	0,08	0,08	0	0	0,08	0,08
PAEBV302GigabitEthernet13/3 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet7/0/1	21,92	21,92	11,9	6,49	33,82	28,41	49,8	49,8	12,74	6,95	62,54	56,75
PAEBV302GigabitEthernet2/3 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet7/0/1	22,11	22,11	11,9	6,49	34,01	28,6	50,8	50,8	12,74	6,95	63,54	57,75
PAEBV302GigabitEthernet7/1 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet2/0/1	22,39	22,39	11,9	6,49	34,29	28,88	50,67	50,67	12,74	6,95	63,41	57,62
PAEBV302GigabitEthernet8/1 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/0/1	27,04	27,04	11,9	6,49	38,94	33,53	50,29	50,29	12,74	6,95	63,03	57,24
PAEBV-BORDERGigabitEthernet6/0/0 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet2/0/0	75,36	75,36	0	0	75,36	75,36	14,7	14,7	0	0	14,7	14,7
PAEBV-BORDERGigabitEthernet6/1/0 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet3/1/1	74,61	74,61	0	0	74,61	74,61	14,56	14,56	0	0	14,56	14,56

PAEBV-BORDERGigabitEthernet6/3/0 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet7/0/0	73,05	73,05	0	0	73,05	73,05	14,86	14,86	0	0	14,86	14,86
PAEBV-BORDERGigabitEthernet7/0/0 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/0/0	72,16	72,16	0	0	72,16	72,16	14,82	14,82	0	0	14,82	14,82
PAEBV-BORDERGigabitEthernet7/1/0 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet0/1/1	72,59	72,59	0	0	72,59	72,59	14,95	14,95	0	0	14,95	14,95
PAEBV-BORDERGigabitEthernet7/1/2 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet7/0/0	74,3	74,3	0	0	74,3	74,3	14,28	14,28	0	0	14,28	14,28
PAEMT-BORDERGigabitEthernet6/0/0 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet7/1/1	47,05	47,05	0	0	47,05	47,05	25,32	25,32	0	0	25,32	25,32
PAEMT-BORDERGigabitEthernet6/0/1 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet7/1/1	46,54	46,54	0	0	46,54	46,54	24,55	24,55	0	0	24,55	24,55
PAEMT-BORDERGigabitEthernet6/0/2 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet2/1/1	47,02	47,02	0	0	47,02	47,02	25,77	25,77	0	0	25,77	25,77
PAEMT-BORDERGigabitEthernet6/1/0 <-> PAEMT-CORE01GigabitEthernet2/3/0	46,7	46,7	0	0	46,7	46,7	25,62	25,62	0	0	25,62	25,62
PAEMT-BORDERGigabitEthernet6/1/2 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/3/0	46,5	46,5	0	0	46,5	46,5	25,06	25,06	0	0	25,06	25,06
PAEMT-BORDERGigabitEthernet6/2/0 <-> PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/1/0	45,75	45,75	0	0	45,75	45,75	24,96	24,96	0	0	24,96	24,96
PAEMT-CORE01GigabitEthernet2/0/2 <-> PAEMT302GigabitEthernet1/3	51,54	51,54	11,91	6,5	63,46	58,04	30,89	30,89	12,77	6,97	43,66	37,86
PAEMT-CORE01GigabitEthernet3/1/2 <-> PAEMT302GigabitEthernet7/1	51,22	51,22	11,91	6,5	63,13	57,72	35,66	35,66	12,77	6,97	48,43	42,62
PAEMT-CORE02GigabitEthernet0/2/2 <-> PAEMT302GigabitEthernet8/1	51,4	51,4	11,91	6,5	63,31	57,9	30,35	30,35	12,77	6,97	43,12	37,32
PAEMT-CORE02GigabitEthernet2/0/2 <-> PAEMT302GigabitEthernet2/1	51,54	51,54	11,91	6,5	63,46	58,04	30,89	30,89	12,77	6,97	43,66	37,86

Conforme ODOM e CAVANAUGH (2005), a diferença de utilização do enlace por fluxos VoIP depende drasticamente do CODEC escolhido para codificar/decodificar os fluxos de voz em pacotes IP. O enlace com maior taxa de utilização, no caso do CODEC G.711, é o enlace CTAME303 POS8/1 ↔ LDAJC300 POS12/1/0, com percentual de utilização no sentido CTAME303 POS8/1 → LDAJC300 POS12/1/0 apresentado na Tabela 6-18. Na Tabela 6-18 também é apresentado, para ambos CODECs (como comparação) o percentual de utilização devido a tráfego de dados e devido aos fluxos de voz.

Dada a Tabela 6-19, que apresenta o tamanho do pacote de voz utilizando o CODEC G.711 e o CODEC G.729A, nota-se que a conversão de um fluxo de voz que utiliza o CODEC G.711 para o CODEC G.729A é em escala diretamente proporcional. Se esse fator de escala for utilizado para converter os fluxos de voz que usam CODEC G.711 para CODEC G.729A o resultado obtido é próximo do valor fornecido pelos relatórios de desempenho do software SP GURU (Tabela 6-18). Este fato ajuda a compreender que quanto maior o tráfego de voz presente no enlace, maior será a diferença dos resultados entre o CODEC G.711 e o CODEC G.729A.

ENLACE	UTILIZAÇÃO TOTAL		UTILIZAÇÃO – TRÁFEGO DE DADOS		UTILIZAÇÃO – FLUXO DE VOZ	
	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A
CTAME303 POS8/1 → LDAJC300 POS12/1/0	127,76%	78,19%	38,54%	38,54%	89,21%	39,65%

Tabela 6-18 - Comparação utilização de enlace

TAMANHO DO PACOTE (1 AMOSTRA DE VOZ POR PACOTE) - BYTES		FATOR DE ESCALA
G.711	G.729A	50/120 = 0,42
120	50	

Tabela 6-19 - Fator de escala CODECs

6.3.4 Avaliação do Desempenho de Chamadas de Voz na Atual Rede IP do Provedor de Serviço de Telecomunicações com o Tráfego de Dados e o Tráfego de Voz Proveniente da Rede RTPC, sem a Configuração de QoS

Com a necessidade de importar o tráfego de voz da RTPC para a rede IP, métricas de avaliação da qualidade das chamadas de voz foram definidas. O primeiro cenário, objetivo 1 do GQM, em que as métricas definidas no quadro 4-2 foram coletadas foi a atual Rede IP do provedor de serviço de telecomunicações escopo deste trabalho, com o tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores e com a adição do tráfego de voz proveniente da rede RTPC, sem a configuração de QoS;

A análise dos dados coletados e importados para o software SP Guru *Network Planner* será apresentada de acordo com os objetivos, questões e métricas definidos no quadro 6-2.

A Tabela 6-20 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as figuras de mérito do objetivo 1 da técnica GQM. Os resultados serão apresentados com mais detalhes a seguir.

Tabela 6-20: Resultadas métricas de GQM para o objetivo 1

	QUESTÕES	MÉTRICAS	ESCALA	RESULTADOS
Objetivo 1	Questão 1.1: Qual é o valor MOS?	Métrica 1.1 O valor do MOS foi obtido através do software SP GURU da OPNET	$4.0 \leq \text{valor MOS} \leq 4.5$	CODEC G.711 - $1,066 \leq \text{MOS} \leq 4,388$ CODEC G.729A - $4,059 \leq \text{MOS} \leq 4,098$
	Questão 1.2: Qual é a taxa de perda de pacotes?	Métrica 1.2 Percentual de pacotes perdidos $M 1.2 = (\text{Qtd de pacotes perdidos} / \text{Qtd total de pacotes}) * 100$	taxa média de perda de pacotes $\leq 0.25\%$	90,07% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 0% 3,19% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 0,002% 0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 2,334% 2,84% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 5,019% 0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 21,489% 3,19% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 21,726% 100% dos fluxos de voz CODEC G.729 com perda de 0%
	Questão 1.3 Qual é o atraso fim-a-fim medido entre os fluxos de voz importados da rede RTPC?	Métrica 1.3 atraso fim-a-fim (da origem até o destino) é a soma dos atrasos nodais $M 1.3 = d_{\text{fim-a-fim}} = N(d_{\text{rede}} + d_{\text{CODEC}} + d_{\text{dejitter buffer}})$ N = número de pacotes $d_{\text{rede}} = d_{\text{prop}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{enfileiramento}}$ $d_{\text{CODEC}} = \text{atraso do CODEC}$ $d_{\text{dejitter buffer}} = \text{atraso do } \textit{dejitter buffer}$	0-150ms: atraso máximo em uma conversa telefônica unidirecional	33,33% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $50\text{ms} \leq d < 60\text{ms}$ 12,06% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $50\text{ms} \leq d < 60\text{ms}$ 24,47% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $60\text{ms} \leq d < 70\text{ms}$ 39,72% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $60\text{ms} \leq d < 70\text{ms}$

				<p>16,67% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $70\text{ms} \leq d < 80\text{ms}$</p> <p>11,35% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $70\text{ms} \leq d < 80\text{ms}$</p> <p>19,86% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $80\text{ms} \leq d < 90\text{ms}$</p> <p>28,37% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $80\text{ms} \leq d < 90\text{ms}$</p> <p>5,67% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso maior que 90ms</p> <p>8,51% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso maior que 90ms</p>
	<p>Questão 1.4: Qual é o jitter existente nos fluxos de voz importados da rede RTPC?</p>	<p>Métrica 1.4 Variação em tempo (segundos) da taxa de chegada (variação de atraso na rede) de pacotes que foram transmitidos de forma uniforme</p> <p>M 1.4 = atraso máximo – atraso mínimo → cálculo realizado pelo software SP GURU</p>	<p>5-10ms: valor aceitável de jitter por nó</p>	<p>1,42% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0ms de jitter</p> <p>1,42% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0ms de jitter</p> <p>13,12% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,002ms de jitter</p> <p>45,04% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,002ms de jitter</p> <p>38,65% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,003ms de jitter</p> <p>30,14% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,003ms de jitter</p> <p>9,93% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,004ms de</p>

				<p> jitter 3,19% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,004ms de jitter 5,32% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,005ms de jitter 9,93% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,005ms de jitter 5,32% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,006ms de jitter 6,03% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,006ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,008ms de jitter 0,71% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,008ms de jitter 12,77% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,01ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,01ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,017ms de jitter 3,55% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,017ms de jitter 0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,03ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,03ms de jitter </p>
--	--	--	--	--

				<p>2,13% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,032ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,032ms de jitter</p> <p>0,71% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,033ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,033ms de jitter</p> <p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,039ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,039ms de jitter</p> <p>3,19% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,05ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,05ms de jitter</p> <p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,144ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,144ms de jitter</p> <p>2,84% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,146ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,146ms de jitter</p>
--	--	--	--	---

				3,55% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,162ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,162ms de jitter
--	--	--	--	--

Para responder a questão 1.1 dos objetivos 1, 2 e 3 do GQM, a Tabela 6-21 apresenta os fluxos de voz importados da rede RTPC para o *backbone* IP, o número de roteadores (*hops*) por qual os fluxos de voz passam, da origem ao destino, bem como o volume de banda gerado pelos fluxos de voz, tanto para o CODEC G.711 quanto para o G.729A.

Tabela 6-21: Fluxos de voz importados

Nome do Fluxo	Numeração	Número de <i>Hops</i>	Volume	
			G.711	G.729
BNUT3300-->BSACE306	1	4	1.67 GB	712.395 MB
BNUT3300-->BSACO300	2	4	1.931 GB	823.975 MB
BNUT3300-->CBACE300	3	4	1.187 GB	506.401 MB
BNUT3300-->CPECE300	4	4	1.086 GB	463.486 MB
BNUT3300-->CTAJE300	5	3	13.518 GB	5.633 GB
BNUT3300-->CTAME303	6	3	13.719 GB	5.716 GB
BNUT3300-->FNSCE300	7	2	5.472 GB	2.28 GB
BNUT3300-->GNACE303	8	4	3.802 GB	1.584 GB
BNUT3300-->GNACE304	9	4	3.782 GB	1.576 GB
BNUT3300-->LDAJJC300	10	4	3.681 GB	1.534 GB
BNUT3300-->MGANM300B	11	3	3.52 GB	1.467 GB
BNUT3300-->PAEBV302	12	3	6.618 GB	2.758 GB
BNUT3300-->PAEMT302	13	3	6.437 GB	2.682 GB
BNUT3301B-->BSACE306	14	4	1.73 GB	738.144 MB
BNUT3301B-->BSACO300	15	4	1.951 GB	832.558 MB
BNUT3301B-->CBACE301	16	4	1.207 GB	514.984 MB
BNUT3301B-->CPECE301	17	4	1.106 GB	472.069 MB
BNUT3301B-->CTAJE300	18	3	13.538 GB	5.641 GB
BNUT3301B-->CTAME303	19	3	13.619 GB	5.675 GB
BNUT3301B-->FNSES300	20	2	5.431 GB	2.263 GB
BNUT3301B-->GNACE303	21	4	3.802 GB	1.584 GB
BNUT3301B-->GNACE304	22	4	3.621 GB	1.509 GB
BNUT3301B-->LDAJJC301	23	4	3.46 GB	1.442 GB
BNUT3301B-->MGANM301B	24	3	3.5 GB	1.458 GB
BNUT3301B-->PAEBV302	25	3	6.357 GB	2.649 GB
BNUT3301B-->PAEMT302	26	3	6.377 GB	2.657 GB
BSACE306-->BNUT3300	27	4	1.65 GB	703.812 MB
BSACE306-->BNUT3301B	28	4	1.71 GB	729.561 MB
BSACE306-->BSACO300	29	2	4.043 GB	1.685 GB
BSACE306-->CBACE300	30	2	9.877 GB	4.116 GB
BSACE306-->CBACE301	31	2	9.616 GB	4.007 GB
BSACE306-->CPECE300	32	2	8.751 GB	3.646 GB
BSACE306-->CPECE301	33	2	8.509 GB	3.546 GB
BSACE306-->CTAJE300	34	3	4.587 GB	1.911 GB
BSACE306-->CTAME303	35	3	3.5 GB	1.458 GB
BSACE306-->FNSCE300	36	4	1.65 GB	703.812 MB
BSACE306-->FNSES300	37	4	1.609 GB	686.646 MB
BSACE306-->GNACE303	38	2	15.51 GB	6.462 GB
BSACE306-->GNACE304	39	2	17.079 GB	7.116 GB

BSACE306-->PAEBV302	40	3	2.012 GB	858.307 MB
BSACE306-->PAEMT302	41	3	2.012 GB	858.307 MB
BSACO300-->BNUT3300	42	4	1.931 GB	823.975 MB
BSACO300-->BNUT3301B	43	4	1.951 GB	832.558 MB
BSACO300-->BSACE306	44	2	4.043 GB	1.685 GB
BSACO300-->CBACE300	45	2	9.032 GB	3.763 GB
BSACO300-->CBACE301	46	2	9.032 GB	3.763 GB
BSACO300-->CPECE300	47	2	8.047 GB	3.353 GB
BSACO300-->CPECE301	48	2	8.047 GB	3.353 GB
BSACO300-->CTAJE300	49	3	3.882 GB	1.618 GB
BSACO300-->CTAME303	50	3	3.38 GB	1.408 GB
BSACO300-->FNSCE300	51	4	1.911 GB	815.392 MB
BSACO300-->FNSSES300	52	4	1.851 GB	789.642 MB
BSACO300-->GNACE303	53	2	12.915 GB	5.381 GB
BSACO300-->GNACE304	54	2	15.007 GB	6.253 GB
BSACO300-->PAEBV302	55	3	2.012 GB	858.307 MB
BSACO300-->PAEMT302	56	3	1.831 GB	781.059 MB
CBACE300-->BNUT3300	57	4	1.066 GB	454.903 MB
CBACE300-->BSACE306	58	2	9.958 GB	4.149 GB
CBACE300-->BSACO300	59	2	10.38 GB	4.325 GB
CBACE300-->CPECE300	60	2	8.187 GB	3.411 GB
CBACE300-->CTAJE300	61	3	7.182 GB	2.992 GB
CBACE300-->CTAME303	62	3	7.041 GB	2.934 GB
CBACE300-->FNSCE300	63	4	1.207 GB	514.984 MB
CBACE300-->GNACE303	64	2	5.271 GB	2.196 GB
CBACE300-->GNACE304	65	2	5.552 GB	2.313 GB
CBACE300-->LDAJC300	66	4	1.73 GB	738.144 MB
CBACE300-->MGANM300B	67	3	1.71 GB	729.561 MB
CBACE300-->PAEBV302	68	3	0.945 GB	403.404 MB
CBACE300-->PAEMT302	69	3	1.046 GB	446.32 MB
CBACE301-->BNUT3301B	70	4	1.207 GB	514.984 MB
CBACE301-->BSACE306	71	2	9.656 GB	4.023 GB
CBACE301-->BSACO300	72	2	9.596 GB	3.998 GB
CBACE301-->CPECE301	73	2	7.745 GB	3.227 GB
CBACE301-->CTAJE300	74	3	7.282 GB	3.034 GB
CBACE301-->CTAME303	75	3	6.558 GB	2.733 GB
CBACE301-->FNSSES300	76	4	1.247 GB	532.15 MB
CBACE301-->GNACE303	77	2	5.391 GB	2.246 GB
CBACE301-->GNACE304	78	2	5.572 GB	2.322 GB
CBACE301-->LDAJC301	79	4	1.971 GB	841.141 MB
CBACE301-->MGANM301B	80	3	1.971 GB	841.141 MB
CBACE301-->PAEBV302	81	3	1.026 GB	437.737 MB
CBACE301-->PAEMT302	82	3	1.066 GB	454.903 MB
CPECE300-->BNUT3300	83	4	1.046 GB	446.32 MB
CPECE300-->BSACE306	84	2	8.429 GB	3.512 GB
CPECE300-->BSACO300	85	2	8.509 GB	3.546 GB
CPECE300-->CBACE300	86	2	8.147 GB	3.395 GB
CPECE300-->CTAJE300	87	3	5.894 GB	2.456 GB
CPECE300-->CTAME303	88	3	6.276 GB	2.615 GB
CPECE300-->FNSCE300	89	4	0.986 GB	420.57 MB

CPECE300-->GNACE303	90	2	6.357 GB	2.649 GB
CPECE300-->GNACE304	91	2	5.592 GB	2.33 GB
CPECE300-->LDAJC300	92	4	1.971 GB	841.141 MB
CPECE300-->MGANM300B	93	3	1.81 GB	772.476 MB
CPECE300-->PAEBV302	94	3	926.971 MB	386.238 MB
CPECE300-->PAEMT302	95	3	0.945 GB	403.404 MB
CPECE301-->BNUT3301B	96	4	1.207 GB	514.984 MB
CPECE301-->BSACE306	97	2	8.59 GB	3.579 GB
CPECE301-->BSACO300	98	2	8.308 GB	3.462 GB
CPECE301-->CBACE301	99	2	7.765 GB	3.235 GB
CPECE301-->CTAJE300	100	3	6.055 GB	2.523 GB
CPECE301-->CTAME303	101	3	5.874 GB	2.448 GB
CPECE301-->FNSES300	102	4	1.167 GB	497.818 MB
CPECE301-->GNACE303	103	2	5.633 GB	2.347 GB
CPECE301-->GNACE304	104	2	5.049 GB	2.104 GB
CPECE301-->LDAJC301	105	4	1.891 GB	806.808 MB
CPECE301-->MGANM301B	106	3	1.951 GB	832.558 MB
CPECE301-->PAEBV302	107	3	926.971 MB	386.238 MB
CPECE301-->PAEMT302	108	3	1.006 GB	429.153 MB
CTAJE300-->BNUT3300	109	3	13.478 GB	5.616 GB
CTAJE300-->BNUT3301B	110	3	13.86 GB	5.775 GB
CTAJE300-->BSACE306	111	3	4.727 GB	1.97 GB
CTAJE300-->BSACO300	112	3	4.687 GB	1.953 GB
CTAJE300-->CBACE300	113	3	7.302 GB	3.043 GB
CTAJE300-->CBACE301	114	3	7.001 GB	2.917 GB
CTAJE300-->CPECE300	115	3	6.055 GB	2.523 GB
CTAJE300-->CPECE301	116	3	5.693 GB	2.372 GB
CTAJE300-->CTAME303	117	2	6.478 GB	2.699 GB
CTAJE300-->FNSCE300	118	3	13.196 GB	5.499 GB
CTAJE300-->FNSES300	119	3	13.056 GB	5.44 GB
CTAJE300-->GNACE303	120	3	3.299 GB	1.375 GB
CTAJE300-->GNACE304	121	3	3.158 GB	1.316 GB
CTAJE300-->LDAJC300	122	1	18.286 GB	7.619 GB
CTAJE300-->LDAJC301	123	1	18.487 GB	7.703 GB
CTAJE300-->MGANM300B	124	2	18.91 GB	7.879 GB
CTAJE300-->MGANM301B	125	2	18.668 GB	7.778 GB
CTAJE300-->PAEBV302	126	3	12.533 GB	5.222 GB
CTAJE300-->PAEMT302	127	3	12.513 GB	5.214 GB
CTAME303-->BNUT3300	128	3	12.955 GB	5.398 GB
CTAME303-->BNUT3301B	129	3	13.418 GB	5.591 GB
CTAME303-->BSACE306	130	3	3.641 GB	1.517 GB
CTAME303-->BSACO300	131	3	3.42 GB	1.425 GB
CTAME303-->CBACE300	132	3	6.578 GB	2.741 GB
CTAME303-->CBACE301	133	3	6.196 GB	2.582 GB
CTAME303-->CPECE300	134	3	5.874 GB	2.448 GB
CTAME303-->CPECE301	135	3	6.035 GB	2.515 GB
CTAME303-->CTAJE300	136	2	6.498 GB	2.707 GB
CTAME303-->FNSCE300	137	3	13.619 GB	5.675 GB
CTAME303-->FNSES300	138	3	13.237 GB	5.515 GB
CTAME303-->GNACE303	139	3	3.359 GB	1.4 GB

CTAME303-->GNACE304	140	3	2.997 GB	1.249 GB
CTAME303-->LDAJC300	141	1	18.407 GB	7.669 GB
CTAME303-->LDAJC301	142	1	18.829 GB	7.845 GB
CTAME303-->MGANM300B	143	2	18.688 GB	7.787 GB
CTAME303-->MGANM301B	144	2	19.332 GB	8.055 GB
CTAME303-->PAEBV302	145	3	12.15 GB	5.063 GB
CTAME303-->PAEMT302	146	3	12.392 GB	5.163 GB
FNSCE300-->BNUT3300	147	2	7.041 GB	2.934 GB
FNSCE300-->BSACE306	148	4	1.609 GB	686.646 MB
FNSCE300-->BSACO300	149	4	1.931 GB	823.975 MB
FNSCE300-->CBACE300	150	4	1.247 GB	532.15 MB
FNSCE300-->CPECE300	151	4	1.106 GB	472.069 MB
FNSCE300-->CTAJE300	152	3	13.257 GB	5.524 GB
FNSCE300-->CTAME303	153	3	13.619 GB	5.675 GB
FNSCE300-->GNACE303	154	4	3.158 GB	1.316 GB
FNSCE300-->GNACE304	155	4	2.997 GB	1.249 GB
FNSCE300-->LDAJC300	156	4	3.178 GB	1.324 GB
FNSCE300-->MGANM300B	157	3	3.259 GB	1.358 GB
FNSCE300-->PAEBV302	158	3	6.578 GB	2.741 GB
FNSCE300-->PAEMT302	159	3	6.478 GB	2.699 GB
FNSE300-->BNUT3301B	160	2	6.82 GB	2.841 GB
FNSE300-->BSACE306	161	4	1.69 GB	720.978 MB
FNSE300-->BSACO300	162	4	1.871 GB	798.225 MB
FNSE300-->CBACE301	163	4	1.187 GB	506.401 MB
FNSE300-->CPECE301	164	4	0.986 GB	420.57 MB
FNSE300-->CTAJE300	165	3	13.116 GB	5.465 GB
FNSE300-->CTAME303	166	3	13.237 GB	5.515 GB
FNSE300-->GNACE303	167	4	2.957 GB	1.232 GB
FNSE300-->GNACE304	168	4	3.058 GB	1.274 GB
FNSE300-->LDAJC301	169	4	3.44 GB	1.433 GB
FNSE300-->MGANM301B	170	3	3.259 GB	1.358 GB
FNSE300-->PAEBV302	171	3	6.799 GB	2.833 GB
FNSE300-->PAEMT302	172	3	6.437 GB	2.682 GB
GNACE303-->BNUT3300	173	4	3.762 GB	1.567 GB
GNACE303-->BNUT3301B	174	4	3.762 GB	1.567 GB
GNACE303-->BSACE306	175	2	15.409 GB	6.421 GB
GNACE303-->BSACO300	176	2	14.725 GB	6.136 GB
GNACE303-->CBACE300	177	2	5.311 GB	2.213 GB
GNACE303-->CBACE301	178	2	5.25 GB	2.188 GB
GNACE303-->CPECE300	179	2	6.035 GB	2.515 GB
GNACE303-->CPECE301	180	2	5.934 GB	2.473 GB
GNACE303-->CTAJE300	181	3	3.259 GB	1.358 GB
GNACE303-->CTAME303	182	3	3.178 GB	1.324 GB
GNACE303-->FNSCE300	183	4	3.299 GB	1.375 GB
GNACE303-->FNSES300	184	4	3.058 GB	1.274 GB
GNACE303-->GNACE304	185	2	3.903 GB	1.626 GB
GNACE303-->LDAJC300	186	4	226.593 MB	94.414 MB
GNACE303-->LDAJC301	187	4	226.593 MB	94.414 MB
GNACE303-->MGANM300B	188	3	82.397 MB	34.332 MB
GNACE303-->MGANM301B	189	3	61.798 MB	25.749 MB

GNACE303-->PAEBV302	190	3	3.641 GB	1.517 GB
GNACE303-->PAEMT302	191	3	3.681 GB	1.534 GB
GNACE304-->BNUT3300	192	4	3.661 GB	1.526 GB
GNACE304-->BNUT3301B	193	4	3.621 GB	1.509 GB
GNACE304-->BSACE306	194	2	16.375 GB	6.823 GB
GNACE304-->BSACO300	195	2	16.093 GB	6.706 GB
GNACE304-->CBACE300	196	2	5.552 GB	2.313 GB
GNACE304-->CBACE301	197	2	5.13 GB	2.137 GB
GNACE304-->CPECE300	198	2	5.029 GB	2.095 GB
GNACE304-->CPECE301	199	2	5.13 GB	2.137 GB
GNACE304-->CTAJE300	200	3	3.158 GB	1.316 GB
GNACE304-->CTAME303	201	3	2.997 GB	1.249 GB
GNACE304-->FNSCE300	202	4	2.977 GB	1.241 GB
GNACE304-->FNSSES300	203	4	3.058 GB	1.274 GB
GNACE304-->GNACE303	204	2	3.42 GB	1.425 GB
GNACE304-->PAEBV302	205	3	3.601 GB	1.5 GB
GNACE304-->PAEMT302	206	3	3.5 GB	1.458 GB
LDAJC300-->BNUT3300	207	4	3.5 GB	1.458 GB
LDAJC300-->CBACE300	208	4	1.971 GB	841.141 MB
LDAJC300-->CPECE300	209	4	1.891 GB	806.808 MB
LDAJC300-->CTAJE300	210	1	18.306 GB	7.628 GB
LDAJC300-->CTAME303	211	1	18.427 GB	7.678 GB
LDAJC300-->FNSCE300	212	4	3.178 GB	1.324 GB
LDAJC300-->MGANM300B	213	3	1.931 GB	823.975 MB
LDAJC300-->PAEBV302	214	4	1.227 GB	523.567 MB
LDAJC300-->PAEMT302	215	4	1.127 GB	480.652 MB
LDAJC301-->BNUT3301B	216	4	3.5 GB	1.458 GB
LDAJC301-->CBACE301	217	4	1.871 GB	798.225 MB
LDAJC301-->CPECE301	218	4	2.092 GB	892.639 MB
LDAJC301-->CTAJE300	219	1	18.487 GB	7.703 GB
LDAJC301-->CTAME303	220	1	18.829 GB	7.845 GB
LDAJC301-->FNSSES300	221	4	3.44 GB	1.433 GB
LDAJC301-->MGANM301B	222	3	1.71 GB	729.561 MB
LDAJC301-->PAEBV302	223	4	1.489 GB	635.147 MB
LDAJC301-->PAEMT302	224	4	1.509 GB	643.73 MB
MGANM300B-->BNUT3300	225	3	3.5 GB	1.458 GB
MGANM300B-->CBACE300	226	3	1.75 GB	746.727 MB
MGANM300B-->CPECE300	227	3	1.931 GB	823.975 MB
MGANM300B-->CTAJE300	228	2	12.774 GB	5.323 GB
MGANM300B-->CTAME303	229	2	18.99 GB	7.913 GB
MGANM300B-->FNSCE300	230	3	3.118 GB	1.299 GB
MGANM300B-->LDAJC300	231	3	2.173 GB	926.971 MB
MGANM300B-->PAEBV302	232	3	1.569 GB	669.479 MB
MGANM300B-->PAEMT302	233	3	1.509 GB	643.73 MB
MGANM301B-->BNUT3301B	234	3	3.48 GB	1.45 GB
MGANM301B-->CBACE301	235	3	1.992 GB	849.724 MB
MGANM301B-->CPECE301	236	3	1.992 GB	849.724 MB
MGANM301B-->CTAJE300	237	2	12.915 GB	5.381 GB
MGANM301B-->CTAME303	238	2	18.91 GB	7.879 GB
MGANM301B-->FNSSES300	239	3	3.38 GB	1.408 GB

MGANM301B-->LDAJC301	240	3	1.992 GB	849.724 MB
MGANM301B-->PAEBV302	241	3	1.589 GB	678.062 MB
MGANM301B-->PAEMT302	242	3	1.609 GB	686.646 MB
PAEBV302-->BNUT3300	243	3	6.578 GB	2.741 GB
PAEBV302-->BNUT3301B	244	3	6.317 GB	2.632 GB
PAEBV302-->BSACE306	245	3	2.012 GB	858.307 MB
PAEBV302-->BSACO300	246	3	2.012 GB	858.307 MB
PAEBV302-->CBACE300	247	3	1.026 GB	437.737 MB
PAEBV302-->CBACE301	248	3	1.026 GB	437.737 MB
PAEBV302-->CPECE300	249	3	0.986 GB	420.57 MB
PAEBV302-->CPECE301	250	3	926.971 MB	386.238 MB
PAEBV302-->CTAJE300	251	3	12.211 GB	5.088 GB
PAEBV302-->CTAME303	252	3	11.829 GB	4.929 GB
PAEBV302-->FNSCE300	253	3	6.679 GB	2.783 GB
PAEBV302-->FNSES300	254	3	6.699 GB	2.791 GB
PAEBV302-->GNACE303	255	3	3.661 GB	1.526 GB
PAEBV302-->GNACE304	256	3	3.742 GB	1.559 GB
PAEBV302-->LDAJC300	257	4	1.287 GB	549.316 MB
PAEBV302-->LDAJC301	258	4	1.287 GB	549.316 MB
PAEBV302-->MGANM300B	259	3	1.569 GB	669.479 MB
PAEBV302-->MGANM301B	260	3	1.569 GB	669.479 MB
PAEBV302-->PAEBV302	261	0	10.199 GB	4.25 GB
PAEBV302-->PAEMT302	262	2	6.337 GB	2.64 GB
PAEMT302-->BNUT3300	263	3	6.437 GB	2.682 GB
PAEMT302-->BNUT3301B	264	3	6.357 GB	2.649 GB
PAEMT302-->BSACE306	265	3	1.992 GB	849.724 MB
PAEMT302-->BSACO300	266	3	2.454 GB	1.023 GB
PAEMT302-->CBACE300	267	3	1.066 GB	454.903 MB
PAEMT302-->CBACE301	268	3	1.026 GB	437.737 MB
PAEMT302-->CPECE300	269	3	0.966 GB	411.987 MB
PAEMT302-->CPECE301	270	3	0.945 GB	403.404 MB
PAEMT302-->CTAJE300	271	3	12.573 GB	5.239 GB
PAEMT302-->CTAME303	272	3	12.271 GB	5.113 GB
PAEMT302-->FNSCE300	273	3	6.558 GB	2.733 GB
PAEMT302-->FNSES300	274	3	6.457 GB	2.691 GB
PAEMT302-->GNACE303	275	3	3.661 GB	1.526 GB
PAEMT302-->GNACE304	276	3	3.601 GB	1.5 GB
PAEMT302-->LDAJC300	277	4	1.287 GB	549.316 MB
PAEMT302-->LDAJC301	278	4	1.368 GB	583.649 MB
PAEMT302-->MGANM300B	279	3	1.509 GB	643.73 MB
PAEMT302-->MGANM301B	280	3	1.609 GB	686.646 MB
PAEMT302-->PAEBV302	281	2	11.265 GB	4.694 GB
PAEMT302-->PAEMT302	282	0	8.147 GB	3.395 GB

É importante ressaltar que quanto maior o número de roteadores existentes no trajeto do fluxo de voz, maiores as chances de o atraso fim-a-fim ultrapassar os limiares estabelecidos pelo ITU-T recomendação G.114, em que o atraso tolerável em um conversa telefônica unidirecional não deve ultrapassar 150ms (JAMES et al, 2004). Segundo o

autor, as chamadas de voz sofrem quando se defrontam com atraso em excesso. Os sintomas incluem voz picotada e até descarte de chamadas.

O Gráfico da Figura 6-8 apresenta os resultados de MOS obtidos após a simulação, sem nenhuma configuração de política de QoS. Os nichos do Gráfico são fluxos de voz com valores inaceitáveis de MOS. Estes fluxos, com os piores valores de MOS utilizando ou o CODEC G.711 ou o CODEC G.729A, o atraso fim-a-fim, a variação do atraso (*jitter*) e o percentual máximo de perda, obtidos sem a configuração de políticas de QoS estão listados na Tabela 6-22.

Tabela 6-22: Piores valores de MOS, atraso, variação do atraso, perda – sem QoS

Nome do Fluxo	Numeração	MOS G.711	MOS G.729A	Atraso G.711 (ms)	Atraso G.729A (ms)	Jitter G.711 (ms)	Jitter G.729A (ms)	Perda Máx G.711	Perda Máx G.729A
CPECE300->LDAJC300	92	1,066	4,07	83,11	87,555	0,162	0,017	21,726	0
CBACE300->LDAJC300	66	1,068	4,073	79,106	83,551	0,162	0,017	21,726	0
GNACE303->LDAJC300	186	1,07	4,079	73,1	77,546	0,162	0,017	21,726	0
PAEBV302->LDAJC300	257	1,074	4,087	63,589	68,034	0,162	0,017	21,726	0
PAEMT302->LDAJC300	277	1,074	4,087	63,589	68,034	0,162	0,017	21,726	0
BNUT3300->LDAJC300	10	1,075	4,089	61,588	66,033	0,162	0,017	21,726	0
FNSCE300->LDAJC300	156	1,075	4,089	61,588	66,033	0,162	0,017	21,726	0
MGANM300B->LDAJC300	231	1,075	4,089	61,086	65,532	0,162	0,017	21,726	0
CTAME303->LDAJC300	141	1,08	4,098	50,575	55,024	0,162	0,017	21,726	0
CTAJE300->LDAJC300	122	1,082	4,098	50,571	55,019	0,162	0,017	21,489	0
LDAJC300->CPECE300	209	2,073	4,07	83,056	87,548	0,146	0,006	5,019	0
LDAJC300->CBACE300	208	2,078	4,073	79,053	83,544	0,146	0,006	5,019	0
LDAJC300->PAEBV302	214	2,096	4,087	63,53	68,023	0,146	0,006	5,019	0
LDAJC300->PAEMT302	215	2,096	4,087	63,53	68,023	0,146	0,006	5,019	0
LDAJC300->BNUT3300	207	2,098	4,089	61,539	66,027	0,146	0,008	5,019	0
LDAJC300->FNSCE300	212	2,098	4,089	61,538	66,026	0,146	0,008	5,019	0
LDAJC300->MGANM300B	213	2,099	4,089	61,03	65,523	0,146	0,006	5,019	0
LDAJC300->CTAME303	211	2,111	4,098	50,518	55,013	0,146	0,006	5,019	0
LDAJC300->CTAJE300	210	3,033	4,098	50,506	55,008	0,144	0,005	2,334	0

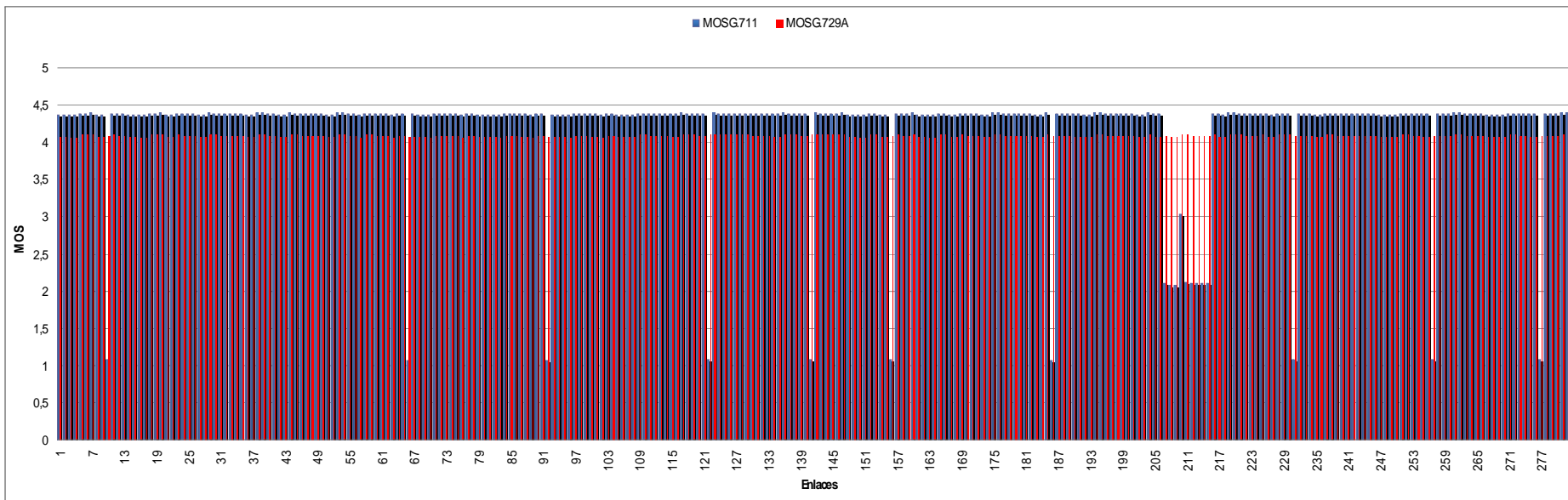


Figura 6-8: Valores MOS – sem aplicação de política de QoS

De acordo com estudo realizado por COVERDALE (1998), 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 a variação do atraso (*jitter*) dá a sensação de truncamento da voz.

Conforme esperado, os fluxos de voz com qualidade inaceitável (CODEC G.711) ou originam ou terminam no roteador LDAH300. Os Gráficos 6-6 e 6-7 mostram que os *uplinks* desse roteador realmente estão congestionados, com utilização muito superior ao limiar de 50% de utilização. Realmente, KUROSE e ROSS (2006) constatam que o congestionamento do enlace provoca aumento da fila do roteador, do atraso fim-a-fim e de sua variação (*jitter*), da perda de pacotes de voz (devido a descarte de pacotes na fila). Todos esses fatores contribuem com a diminuição do valor MOS.

Os valores obtidos para o CODEC G.729A foram incluídos na Tabela 6-22 para efeito de comparação. Fica evidente que o impacto de perda de pacote na qualidade da voz depende do CODEC utilizado (JOHNSON et al, 2004). Além da diferença quanto a perda de pacotes, com o CODEC G.729A os enlaces não estão com mais de 100% de utilização, o atraso é levemente maior e o valor de MOS está aceitável, porém bem perto do limiar inferior de qualidade de voz.

Os valores da métrica do GQM, atraso fim-a-fim, são apresentados no Gráfico da Figura 6-9, tanto para o CODEC G.711 quanto para o CODEC G.729A. A Tabela 6-23 apresenta uma segunda maneira de visualização dos piores valores do atraso fim-a-fim.

Tabela 6-23: Atraso fim-a-fim – rede IP sem QoS

Intervalo de atraso Fim-a-Fim (ms)	Quantidade de Fluxos de Voz		Percentual do total de Fluxos de Voz (%)	
	G.711	G.729A	G.711	G.729 ^a
$50 \leq d < 60$	94	34	33,33	12,06
$60 \leq d < 70$	69	112	24,47	39,72
$70 \leq d < 80$	47	32	16,67	11,35
$80 \leq d < 90$	56	80	19,86	28,37
$d \geq 90$	16	24	5,67	8,51

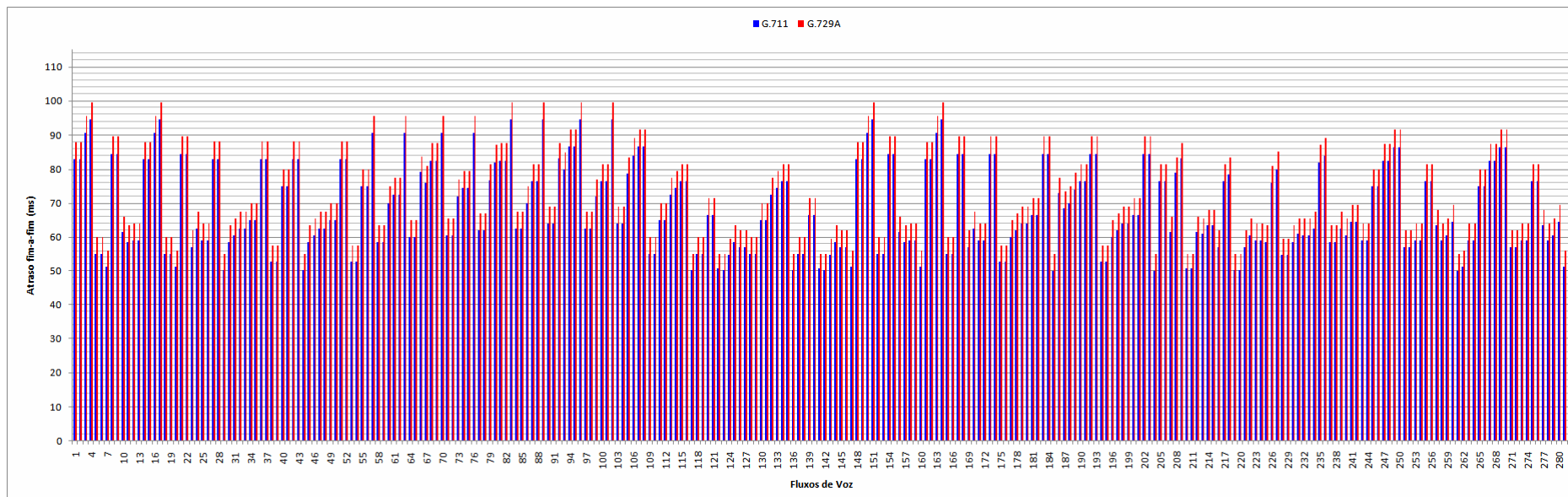


Figura 6-9: Valores atraso fim-a-fim – sem aplicação de política de QoS

O atraso fim-a-fim apresentado no Gráfico da Figura 6-9 e na Tabela 6-23 é a soma dos atrasos de i)rede, ii)do CODEC, iii)*dejitter buffer*. O atraso do CODEC é estável e equivalente a 10ms para o CODEC G.711 e 15ms para o CODEC G.729A. O atraso do *dejitter buffer* é fixado a 40ms, para ambos CODECs. Com estas informações, a variação do atraso está diretamente associada ao único componente variável do atraso fim-a-fim, o atraso de rede. O atraso de rede é composto pelo i)atraso de propagação, ii) atraso de transmissão e iii) atraso de enfileiramento sendo que, de acordo com YANG e CHOU (2003), quanto maior à distância *d* de um enlace maior o atraso de propagação. Tanto para o CODEC G.729A quanto para o CODEC G.711, os fluxos com maior nível de atraso de rede são: i) CPECE300-->BNUT3300, ii) CPECE300-->FNSCE300. Entre as explicações existentes para este atraso está a de que o roteador CORE de Brasília (diretamente conectado ao roteador CPECE300) não possui um enlace ponto-a-ponto com o roteador CORE de Florianópolis (diretamente conectado aos roteadores FNSCE300 e BNUT3300). Com isso o pacote proveniente do roteador CPECE300 precisa passar por um número de enlaces maior, que causa um razoável atraso de propagação. Apesar do maior atraso medido pela simulação ser de 94,544ms (G.711) e 99,541ms (G.729A) ainda encontra-se abaixo de 150ms, valor máximo estipulado pela recomendação G.114 do ITU-T.

O Gráfico da Figura 6-10 demonstra os resultados de variação de atraso (*jitter*), quarta métrica do método GQM, obtido através da simulação. A Tabela 6-24 apresenta os resultados dos valores de variação do atraso (*jitter*) de outra maneira – percentual.

Os maiores resultados para o atraso variável (*jitter*) envolvem os fluxos de voz, que utilizam o CODEC G.711 e que originam ou terminam no roteador LDAJC300. Entretanto, mesmo os piores valores de *jitter* obtidos são abaixo de 5ms. De acordo com FILSFILS e EVANS (2002) se o valor do *jitter* por nó estiver entre 5-10ms a qualidade da voz será aceitável. Com a utilização do CODEC G.729A os fluxos de voz apresentam, sem exceção, valores razoáveis de variação do atraso (*jitter*).

Tabela 6-24: Valores de variação do atraso (*jitter*) (%) – rede IP sem QoS

Jitter Fim-a-Fim (ms)	Quantidade de Fluxos de Voz		Percentual do total de Fluxos de Voz (%)	
	G.711	G.729A	G.711	G.729A
0	4	4	1,42	1,42

0,002	37	127	13,12	45,04
0,003	109	85	38,65	30,14
0,004	28	9	9,93	3,19
0,005	15	28	5,32	9,93
0,006	15	17	5,32	6,03
0,008	-	2	-	0,71
0,01	36	-	12,77	-
0,017	-	10	-	3,55
0,03	1	-	0,35	-
0,032	6	-	2,13	-
0,033	2	-	0,71	-
0,039	1	-	0,35	-
0,05	9	-	3,19	-
0,144	1	-	0,35	-
0,146	8	-	2,84	-
0,162	10	-	3,55	-

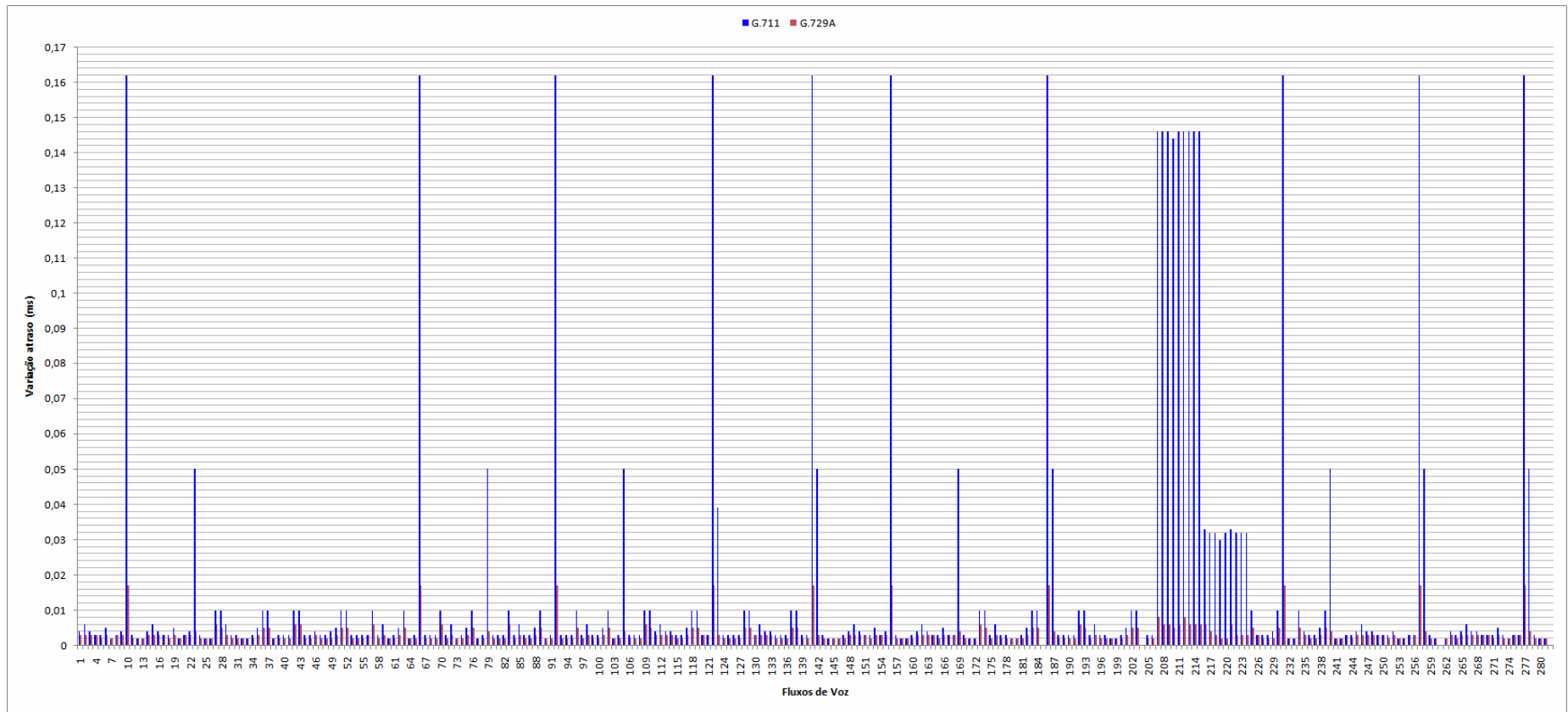


Figura 6-10: Valores (variação atraso) *jitter* – sem aplicação de política de QoS

6.3.5 Avaliação do Desempenho de Chamadas de Voz na Atual Rede IP do Provedor de Serviço de Telecomunicações com o Tráfego de Dados, o Tráfego de Voz Proveniente da Rede RTPC e com a Configuração de QoS

Conforme análise de dados realizada na seção 6.3.4, o cenário sem configuração de QoS apresentou alguns fluxos de voz com qualidade insatisfatória. Com isso tornou-se necessária a configuração de parâmetros de QoS nos roteadores da rede IP, foco deste trabalho, para assim tentar obter fluxos de voz com qualidade satisfatória, semelhantes as da rede RTPC.

Uma das opções da ferramenta *Design Action* do software SP Guru *Network Planner* é a de configuração de QoS para redes IP com tráfego VoIP, conforme descrito no capítulo 5. Esta opção da ferramenta *Design Action* é usada para automatizar a configuração dos parâmetros de QoS em roteadores.

Com a configuração de QoS estabeleceu-se o segundo cenário, objetivo 2 da técnica GQM e o resultado das métricas definidas no quadro 6-2 serão apresentadas e analisadas.

A Tabela 6-25 apresenta um resumo dos resultados obtidos para as Figuras de mérito do objetivo 2 da técnica GQM. Os resultados serão apresentados com mais detalhes a seguir.

Tabela 6-25: Resultado das métricas de GQM para objetivo 2

QUESTÕES	MÉTRICAS	ESCALA	RESULTADOS
Questão 1.1: Qual é o valor MOS?	O valor do MOS foi obtido através do software SP GURU da OPNET	4.0 ≤ valor MOS ≥ 4.5	CODEC G.711 – 1,011 ≤ MOS ≤ 4,388 CODEC G.729 - - 4,059 ≤ MOS ≤ 4,098
Questão 1.2: Qual é a taxa de perda de pacotes?	Métrica 1.2 Percentual de pacotes perdidos M 1.2 = (Qtd de pacotes perdidos/ Qtd total de pacotes)*100	taxa média de perda de pacotes ≤ 0.25%	93,26% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 0% 0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 2,726% 2,84% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 5,999% 0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 30,824% 3,19% dos fluxos de voz CODEC G.711 com perda de 31,112% 100% dos fluxos de voz CODEC G.729 com perda de 0%
Questão 1.3 Qual é o atraso fim-a-fim medido entre os fluxos de voz importados da rede RTPC?	Métrica 1.3 atraso fim-a-fim (da origem até o destino) é a soma dos atrasos nodais M 1.3 = $d_{\text{fim-a-fim}}$ = $N(d_{\text{proc}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}} + d_{\text{CODEC}} + d_{\text{debuffer}})$ N = número de pacotes d_{proc} = atraso de processamento em cada roteador e na origem d_{trans} = atraso de transmissão = L/R onde L bits é o tamanho médio do pacote e R bits/s é a taxa de transmissão de cada roteador d_{prop} = atraso de propagação em cada enlace d_{CODEC} = atraso do CODEC d_{debuffer} = atraso do <i>debuffer</i>	0-150ms: atraso máximo em uma conversa telefônica unidirecional	33,33% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre 50ms ≤ d < 60ms 12,06% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre 50ms ≤ d < 60ms 24,47% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre 60ms ≤ d < 70ms 39,72% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre 60ms ≤ d < 70ms 16,67% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre 70ms ≤ d < 80 ms 11,35% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre 70ms ≤ d < 80 ms 19,86% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre 80ms ≤ d < 90ms 28,37% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre 80ms ≤ d < 90ms 5,67% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso maior que 90ms (máximo é 94,541ms) 8,51% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso maior que 90ms (máximo é 99,541ms)
Questão 1.4: Qual é o jitter	Métrica 1.4 Variação em tempo (segundos) da	5-10ms: valor	25,53% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0ms de jitter

Objetivo 2

<p>existente nos fluxos de voz importados da rede RTPC?</p>	<p>taxa de chegada (variação de atraso na rede) de pacotes que foram transmitidos de forma uniforme</p> <p>M 1.4 = atraso máximo – atraso mínimo → cálculo realizado pelo software SP GURU</p>	<p>aceitável de jitter por nó</p>	<p>1,42% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0ms de jitter</p> <p>60,99% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,001ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,001ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,002ms de jitter</p> <p>45,04% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,002ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,003ms de jitter</p> <p>30,14% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,003ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,004ms de jitter</p> <p>3,19% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,004ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,005ms de jitter</p> <p>9,93% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,005ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,006ms de jitter</p> <p>6,03% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,006ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,008ms de jitter</p> <p>0,71% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,008ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,017ms de jitter</p> <p>3,55% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,017ms de jitter</p> <p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,02ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,02ms de jitter</p>
--	--	--	--

				<p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,021ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,021ms de jitter</p> <p>6,03% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,022ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,022ms de jitter</p> <p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,149ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,149ms de jitter</p> <p>2,84% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,153ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,153ms de jitter</p> <p>3,19% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,206ms de jitter 0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,206ms de jitter</p>
--	--	--	--	--

O Gráfico da Figura 6-11 apresenta os valores de MOS após a configuração de QoS. Observa-se ainda a presença de baixos valores de MOS para fluxos de voz utilizando o CODEC G.711, indicando que o QoS não está configurado apropriadamente.

As Tabelas 6-26 e 6-27 detalham os fluxos de voz com baixos valores de MOS e comparam os resultados com os obtidos no cenário sem configuração de QoS. Nota-se que o valor de MOS ainda não apresentou melhoras, significando que a divisão da largura de banda da interface entre as filas precisa ser revisada, para que os fluxos de voz sejam devidamente priorizados.

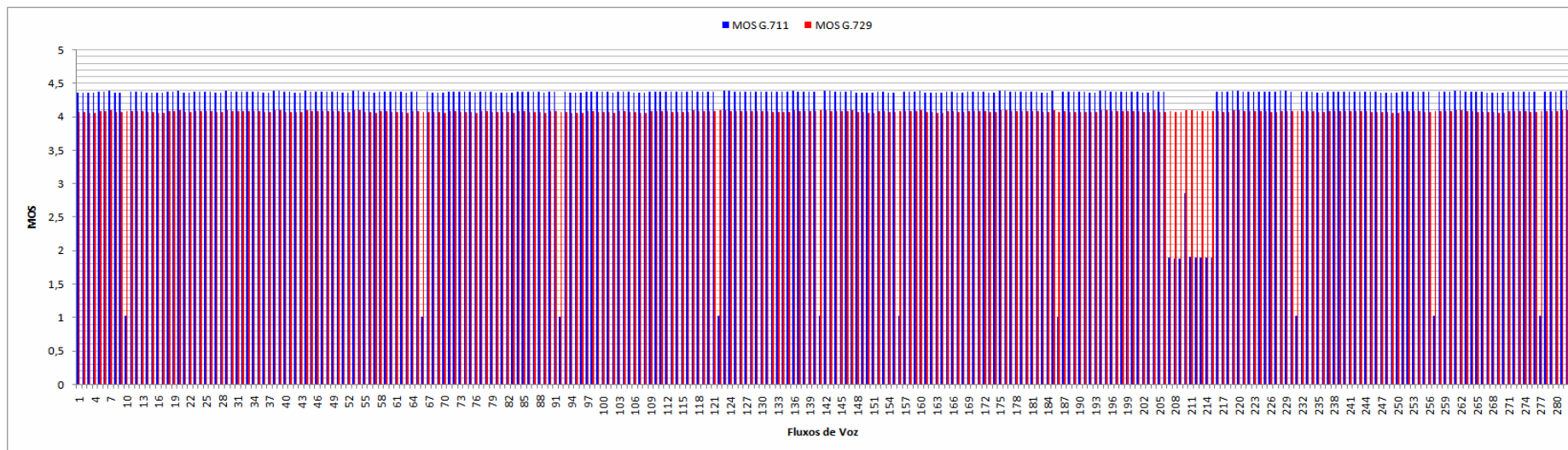


Figura 6-11 - MOS – com aplicação de política de QoS

Tabela 6-26: Valores de MOS G.711 – rede IP com QoS

Nome do Fluxo	Numeração	MOS G.711 sem QoS	MOS G.711 com QoS
CPECE300-->LDAJC300	92	1,066	1,066
CBACE300-->LDAJC300	66	1,068	1,068
GNACE303-->LDAJC300	186	1,07	1,07
PAEBV302-->LDAJC300	257	1,074	1,074
PAEMT302-->LDAJC300	277	1,074	1,074
BNUT3300-->LDAJC300	10	1,075	1,075
FNSCE300-->LDAJC300	156	1,075	1,075
MGANM300B-->LDAJC300	231	1,075	1,075
CTAME303-->LDAJC300	141	1,08	1,08
CTAJE300-->LDAJC300	122	1,082	1,082
LDAJC300-->CPECE300	209	2,073	2,073
LDAJC300-->CBACE300	208	2,078	2,078
LDAJC300-->PAEBV302	214	2,096	2,096
LDAJC300-->PAEMT302	215	2,096	2,096
LDAJC300-->BNUT3300	207	2,098	2,098
LDAJC300-->FNSCE300	212	2,098	2,098
LDAJC300-->MGANM300B	213	2,099	2,099
LDAJC300-->CTAME303	211	2,111	2,111
LDAJC300-->CTAJE300	210	3,033	3,033

Tabela 6-27: Valores de MOS G.729A – rede IP com QoS

Nome do Fluxo	Numeração	MOS G.729A sem QoS	MOS G.729A com QoS
BNUT3300-->CPECE300	4	4,059	4,059
BNUT3301B-->CPECE301	17	4,059	4,059
CPECE300-->BNUT3300	83	4,059	4,059
CPECE300-->FNSCE300	89	4,059	4,059
CPECE301-->BNUT3301B	96	4,059	4,059
CPECE301-->FNSES300	102	4,059	4,059
FNSCE300-->CPECE300	151	4,059	4,059
FNSES300-->CPECE301	164	4,059	4,059
BNUT3300-->CBACE300	3	4,063	4,063
BNUT3301B-->CBACE301	16	4,063	4,063
CBACE300-->BNUT3300	57	4,063	4,063
CBACE300-->FNSCE300	63	4,063	4,063
CBACE301-->BNUT3301B	70	4,063	4,063
CBACE301-->FNSES300	76	4,063	4,063
FNSCE300-->CBACE300	150	4,063	4,063
FNSES300-->CBACE301	163	4,063	4,063
CPECE300-->PAEBV302	94	4,066	4,066
CPECE300-->PAEMT302	95	4,066	4,066
CPECE301-->PAEBV302	107	4,066	4,066

O Gráfico da Figura 6-12 apresenta os resultados do atraso fim-a-fim após a configuração de QoS.

As Tabelas 6-28 e 6-29 detalham, respectivamente os valores para o atraso fim-a-fim para o CODEC G.711 e para o CODEC G.729A, tanto com como sem configuração de QoS. O atraso fim-a-fim para os fluxos de voz utilizando o CODEC G.711 apresentou melhora sutil, na ordem de 0,002ms. O atraso fim a fim para os fluxos utilizando o CODEC G.729A permaneceu inalterado.

O Gráfico da Figura 6-13 contém os resultados da variação do atraso (*jitter*).

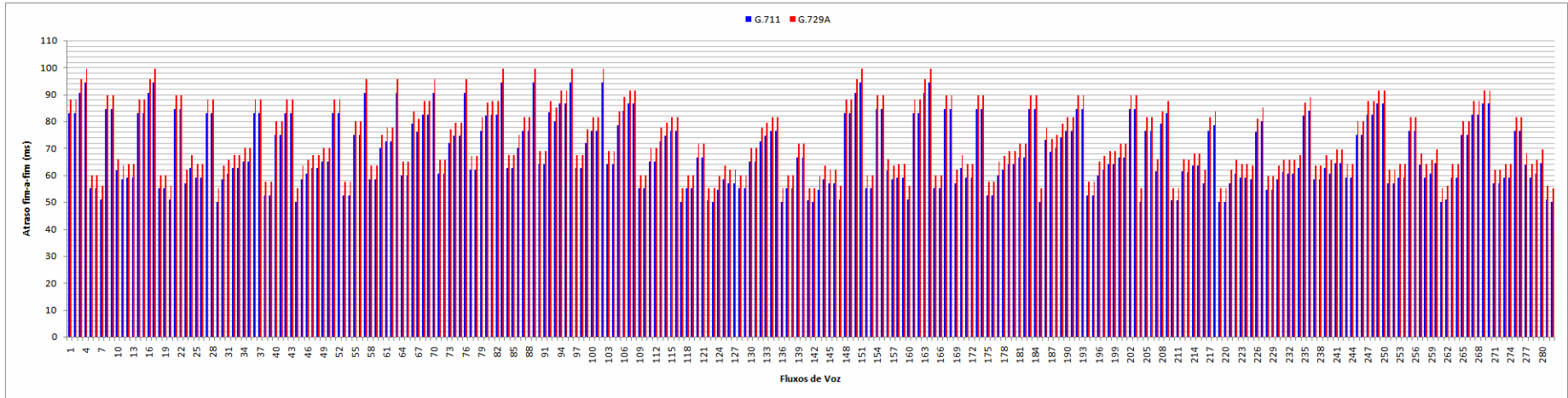


Figura 6-12: Atraso fim-a-fim – com aplicação de política de QoS

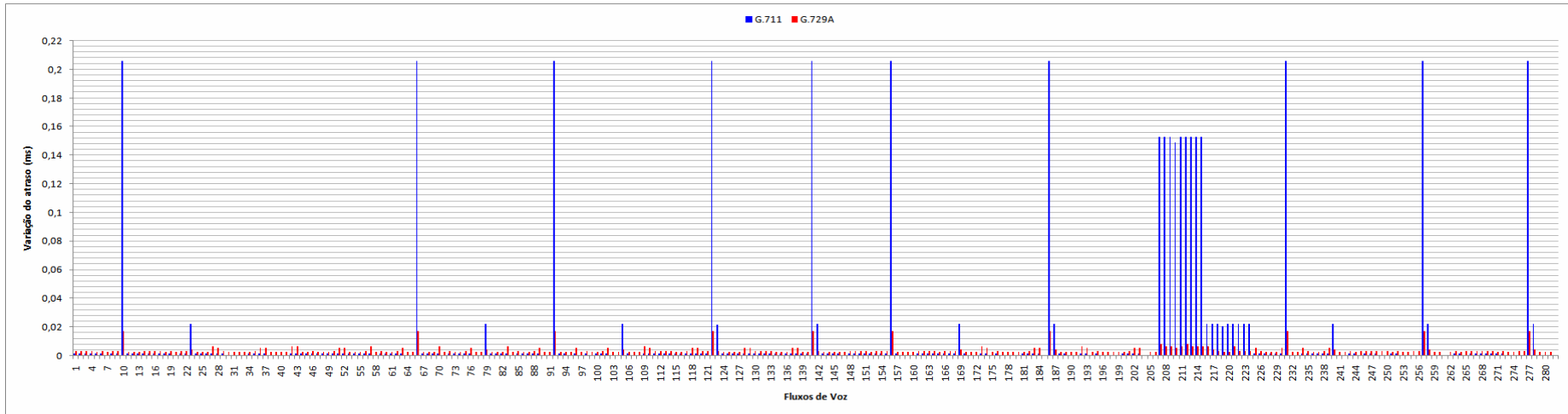


Figura 6-13: Variação do atraso (jitter) – com aplicação de política de QoS

Tabela 6-28: Atraso fim-a-fim G.711 – comparação rede IP com e sem QoS

Nome do Fluxo	Numeração	Atraso G.711 sem QoS (ms)	Atraso G.711 com QoS (ms)
CPECE300-->BNUT3300	83	94,544	94,541
CPECE300-->FNSCE300	89	94,543	94,541
CPECE301-->BNUT3301B	96	94,544	94,541
CPECE301-->FNSES300	102	94,543	94,541
BNUT3300-->CPECE300	4	94,527	94,525
BNUT3301B-->CPECE301	17	94,527	94,525
FNSCE300-->CPECE300	151	94,527	94,525
FNSES300-->CPECE301	164	94,526	94,525
CBACE300-->BNUT3300	57	90,54	90,538
CBACE300-->FNSCE300	63	90,539	90,537
CBACE301-->BNUT3301B	70	90,54	90,537
CBACE301-->FNSES300	76	90,539	90,537
BNUT3300-->CBACE300	3	90,524	90,521
BNUT3301B-->CBACE301	16	90,524	90,521
FNSCE300-->CBACE300	150	90,523	90,521
FNSES300-->CBACE301	163	90,523	90,521
CPECE300-->PAEBV302	94	86,541	86,54
CPECE300-->PAEMT302	95	86,541	86,54
CPECE301-->PAEBV302	107	86,541	86,54

Tabela 6-29: Atraso fim-a-fim G.729A – comparação rede IP com e sem QoS

Nome do Fluxo	Numeração	Atraso G.729A sem QoS (ms)	Atraso G.729A com QoS (ms)
CPECE300-->BNUT3300	83	99,541	99,541
CPECE301-->BNUT3301B	96	99,541	99,541
CPECE300-->FNSCE300	89	99,541	99,541
CPECE301-->FNSES300	102	99,541	99,541
BNUT3300-->CPECE300	4	99,524	99,524
BNUT3301B-->CPECE301	17	99,524	99,524
FNSCE300-->CPECE300	151	99,524	99,524
FNSES300-->CPECE301	164	99,524	99,524
CBACE300-->BNUT3300	57	95,537	95,537
CBACE301-->BNUT3301B	70	95,537	95,537
CBACE300-->FNSCE300	63	95,537	95,537
CBACE301-->FNSES300	76	95,537	95,537
BNUT3300-->CBACE300	3	95,521	95,521
BNUT3301B-->CBACE301	16	95,521	95,521
FNSCE300-->CBACE300	150	95,521	95,521
FNSES300-->CBACE301	163	95,521	95,521
CPECE300-->PAEBV302	94	91,539	91,539
CPECE300-->PAEMT302	95	91,539	91,539
CPECE301-->PAEBV302	107	91,539	91,539
CPECE301-->PAEMT302	108	91,539	91,539

As Tabelas 6-30 e 6-31 apresentam a variação do atraso (*jitter*) para o CODEC G.711 e G.729A, respectivamente, comparando com os resultados obtidos antes da configuração de QoS. A variação do atraso (*jitter*) aumentou para o CODEC G.711 e permaneceu

inalterada para o CODEC G.729A. Esse aumento na variação do atraso, experimentado por pacotes consecutivos, pode ter sido causado por i) variações dos tempos de fila nos roteadores, ou seja, variação no atraso no enfileiramento, devido às mudanças dinâmicas do tráfego de rede e ii) utilização, por uma conexão, de enlaces de custo equivalente, porém com distância físicas ou elétricas diferentes.

O aumento do *jitter*, resulta em “trancos” ou numa qualidade irregular para o som transmitido nos fluxos de voz. A solução para a variação do atraso pode estar no provisionamento adequado pela rede de mecanismos, como priorização de pacotes, que condicionam o *jitter* a níveis adequados. O aumento da variação do atraso é um indicio de que a configuração de QoS aplicada na rede não está apropriada e precisa ser revisada.

Tabela 6-30: Variação do atraso (jitter) G.711 – comparação rede IP com e sem QoS

Nome do Fluxo	Numeração	Jitter G.711 sem QoS (ms)	Jitter G.711 com QoS (ms)
CPECE300-->LDAJC300	92	0,162	0,206
CBACE300-->LDAJC300	66	0,162	0,206
GNACE303-->LDAJC300	186	0,162	0,206
PAEBV302-->LDAJC300	257	0,162	0,206
PAEMT302-->LDAJC300	277	0,162	0,206
BNUT3300-->LDAJC300	10	0,162	0,206
FNSCE300-->LDAJC300	156	0,162	0,206
MGANM300B-->LDAJC300	231	0,162	0,206
CTAME303-->LDAJC300	141	0,162	0,206
CTAJE300-->LDAJC300	122	0,162	0,206
LDAJC300-->CPECE300	209	0,146	0,153
LDAJC300-->CBACE300	208	0,146	0,153
LDAJC300-->PAEBV302	214	0,146	0,153
LDAJC300-->PAEMT302	215	0,146	0,153
LDAJC300-->BNUT3300	207	0,146	0,153
LDAJC300-->FNSCE300	212	0,146	0,153
LDAJC300-->MGANM300B	213	0,146	0,153
LDAJC300-->CTAME303	211	0,146	0,153
LDAJC300-->CTAJE300	210	0,144	0,149

Tabela 6-31: Variação do atraso (jitter) G.729A – comparação rede IP com e sem QoS

Nome do Fluxo	Numeração	Jitter G.729A sem QoS (ms)	Jitter G.729A com QoS (ms)
CPECE300-->LDAJC300	92	0,017	0,017
CBACE300-->LDAJC300	66	0,017	0,017
GNACE303-->LDAJC300	186	0,017	0,017
PAEBV302-->LDAJC300	257	0,017	0,017
PAEMT302-->LDAJC300	277	0,017	0,017
BNUT3300-->LDAJC300	10	0,017	0,017
FNSCE300-->LDAJC300	156	0,017	0,017

MGANM300B-->LDAJC300	231	0,017	0,017
CTAME303-->LDAJC300	141	0,017	0,017
CTAJE300-->LDAJC300	122	0,017	0,017
LDAJC300-->BNUT3300	207	0,008	0,008
LDAJC300-->FNSCE300	212	0,008	0,008
CPECE300-->BNUT3300	83	0,006	0,006
CBACE300-->BNUT3300	57	0,006	0,006
CBACE301-->BNUT3301B	70	0,006	0,006
GNACE303-->BNUT3300	173	0,006	0,006
GNACE304-->BNUT3300	192	0,006	0,006
BSACE306-->BNUT3300	27	0,006	0,006
BSACO300-->BNUT3300	42	0,006	0,006
BSACO300-->BNUT3301B	43	0,006	0,006

A Tabela 6-32 apresenta a perda de pacotes para os fluxos de voz que utilizam o CODEC G.711. Como a configuração de QoS aplicada nos roteadores da rede IP em estudo diminuiu a banda disponível para os fluxos de voz – a fila EF só possuía 30% do total da banda da interface – já era esperado um aumento da perda de pacotes. Não houve perda de pacote para o CODEC G.729A.

Tabela 6-32: Perda de pacotes G.711 – – comparação rede IP com e sem QoS

Nome do Fluxo	Numeração	Perda de Pacote G.711 sem QoS (%)	Perda de Pacote G.711 com QoS (%)
CPECE300-->LDAJC300	92	21,726	31,112
CBACE300-->LDAJC300	66	21,726	31,112
GNACE303-->LDAJC300	186	21,726	31,112
PAEBV302-->LDAJC300	257	21,726	31,112
PAEMT302-->LDAJC300	277	21,726	31,112
BNUT3300-->LDAJC300	10	21,726	31,112
FNSCE300-->LDAJC300	156	21,726	31,112
MGANM300B-->LDAJC300	231	21,726	31,112
CTAME303-->LDAJC300	141	21,726	31,112
CTAJE300-->LDAJC300	122	21,489	30,824
LDAJC300-->CPECE300	209	5,019	5,999
LDAJC300-->CBACE300	208	5,019	5,999
LDAJC300-->PAEBV302	214	5,019	5,999
LDAJC300-->PAEMT302	215	5,019	5,999
LDAJC300-->BNUT3300	207	5,019	5,999
LDAJC300-->FNSCE300	212	5,019	5,999
LDAJC300-->MGANM300B	213	5,019	5,999
LDAJC300-->CTAME303	211	5,019	5,999
LDAJC300-->CTAJE300	210	2,334	2,726
CPECE301-->LDAJC301	105	0,002	0
CBACE301-->LDAJC301	79	0,002	0
GNACE303-->LDAJC301	187	0,002	0
MGANM301B-->LDAJC301	240	0,002	0
PAEBV302-->LDAJC301	258	0,002	0
PAEMT302-->LDAJC301	278	0,002	0

BNUT3301B-->LDAJC301	23	0,002	0
FNSES300-->LDAJC301	169	0,002	0
CTAME303-->LDAJC301	142	0,002	0
CTAJE300-->LDAJC301	123	0	0

6.3.6 Avaliação do Desempenho de Chamadas de Voz na Atual Rede IP do Provedor de Serviço de Telecomunicações com o Tráfego de Dados e o Tráfego de Voz Proveniente da Rede RTPC, com a Configuração de QoS

Conforme análise de dados realizada na seção 6.3.5, o cenário com configuração inicial de QoS apresentou alguns fluxos de voz com qualidade insatisfatória e com aumento de perda de pacotes. Com isso tornou-se necessária a revisão da configuração de parâmetros de QoS nos roteadores da rede IP, foco deste trabalho, para assim tentar obter fluxos de voz com qualidade satisfatória, semelhantes as da rede RTPC.

Uma das maneiras de revisar a configuração de QoS é através da verificação do percentual de largura de banda da interface reservado para cada fila criada na interface. É possível revisar o tamanho das filas através da ferramenta *Design Action ip_qos_queue_sizing_voip* do software SP Guru *Network Planner*, conforme descrito no capítulo 5. Esta ferramenta *Design Action* verifica a largura de banda de filas em interfaces IP baseada na carga da fila e nas regras de configuração das filas. Já a ferramenta *Flow Analysis* é usada para computar a carga ofertada para cada fila, baseada no fluxo de tráfego. Dependendo do resultado obtido através da ferramenta *Flow Analysis* a *Design Action - Ip_qos_queue_sizing_voip* reajusta a largura de banda da fila ou o peso para cada fila.

Com a revisão da configuração de QoS estabeleceu-se o terceiro e último cenário, objetivo 3 da técnica GQM com o resultado das métricas definidas no quadro 6-2 apresentadas e analisadas a seguir.

Antes de apresentar os novos resultados obtidos é importante analisar as alterações na configuração de QoS aplicada na rede IP em estudo. A Tabela 6-33 lista os roteadores e interfaces cujas políticas de QoS foram modificadas pela *design action Ip_qos_queue_sizing_voip*, bem como as seguintes informações:

- i. Nome da Fila: nome da fila baseado na classe de tráfego a ela associada;

- ii. Prioridade da Fila: Caso a prioridade da fila esteja habilitada, a fila se comporta como uma verdadeira fila prioritária e recebe pacotes até estar vazia;
- iii. Largura de Banda Inicial (Final) da Fila (%): Percentual inicialmente (posteriormente) especificado para a largura de banda da fila;
- iv. Utilização Inicial (Final) da Fila (%): Percentual de utilização inicial (final) da largura de banda da fila;
- v. Compatibilidade com Limites Fila: A compatibilidade é positiva se a utilização final da fila estiver dentro dos limites desejados, caso contrário será negativa. Uma fila com percentual de Largura de banda Final maior que o estipulado não será considerada compatível.

Observa-se que entre as filas que foram modificadas, todas as filas EF sofreram um aumento da largura de banda inicialmente reservada. Algumas interfaces, entretanto, mesmo com a revisão do percentual de largura de banda dedicado para cada fila, não conseguiram se enquadrar aos limites de fila estabelecidos. Nesses casos, uma sugestão é aumentar o número de enlaces em paralelo ou trocar a tecnologia do enlace por uma de maior capacidade.

Apesar de algumas poucas interfaces não conseguirem melhora significativa de desempenho, as demais obtiveram resultados positivos após a revisão da configuração. A seguir serão analisados os resultados das métricas do GQM.

Tabela 6-33: Revisão políticas de QoS

Roteador	Interface	Nome da Fila		Prioridade da Fila		Mudança na fila		Largura de Banda Inicial da Fila (%)		Utilização Inicial da largura de banda da Fila (%)		Largura de banda Final da Fila (%)		Utilização Final da largura de banda da Fila (%)		Compatibilidade com Limites Fila		
		G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729A	G.711	G.729 ^a	
BSACE-CORE01	GigabitEthernet9/0/2	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	60 (%)		0	-	Sim	-	
BSACE-CORE01	GigabitEthernet9/0/2	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		93,83	-	40 (%)		70,38	-	Sim	-	
BSACE-CORE02	GigabitEthernet7/0/2	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	60 (%)		0	-	Sim	-	
BSACE-CORE02	GigabitEthernet7/0/2	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		93,83	-	40 (%)		70,38	-	Sim	-	
BSACO300	GigabitEthernet1/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
BSACO300	GigabitEthernet1/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		86,63	-	35 (%)		74,26	-	Sim	-	
BSACO300	GigabitEthernet3/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
BSACO300	GigabitEthernet3/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		86,63	-	35 (%)		74,26	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet0/0/2	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet0/0/2	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		90,37	-	35 (%)		77,46	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet2/0/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet2/0/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		85,37	-	35 (%)		73,17	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet6/0/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet6/0/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		90,37	-	35 (%)		77,46	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet9/1/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE-CORE01	GigabitEthernet9/1/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		85,37	-	35 (%)		73,17	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet1/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet1/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		91,77	-	35 (%)		78,66	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet1/3	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet1/3	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		91,77	-	35 (%)		78,66	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet2/1	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet2/1	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		91,77	-	35 (%)		78,66	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet2/2	BE		Desabilitada		Diminuição	-	70 (%)		0	-	65 (%)		0	-	Sim	-	
CTAJE300	GigabitEthernet2/2	EF		Habilitada		Aumento	-	30 (%)		91,77	-	35 (%)		78,66	-	Sim	-	
CTAJE300	POS1/1	BE		Desabilitada		Diminuição	Diminuição	70 (%)		0	0	5 (%)		50 (%)	0	0	Sim	Sim
CTAJE300	POS1/1	EF		Habilitada		Aumento	Aumento	30 (%)		296	131,57	95 (%)		50 (%)	93,47	78,94	Não	Sim

CTAJE300	POS2/3	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
CTAJE300	POS2/3	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	283,43	125,97	95 (%)	50 (%)	89,51	75,58	Não	Sim
CTAME-CORE01	GigabitEthernet0/0/2	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet0/0/2	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	90,37	-	35 (%)	-	77,46	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet2/0/1	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet2/0/1	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	85,37	-	35 (%)	-	73,17	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet6/0/1	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet6/0/1	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	90,37	-	35 (%)	-	77,46	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet9/1/1	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME-CORE01	GigabitEthernet9/1/1	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	85,37	-	35 (%)	-	73,17	-	Sim	-
CTAME303	GigabitEthernet3/4	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME303	GigabitEthernet3/4	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	89,63	-	35 (%)	-	76,83	-	Sim	-
CTAME303	GigabitEthernet6/1	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME303	GigabitEthernet6/1	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	89,63	-	35 (%)	-	76,83	-	Sim	-
CTAME303	GE-WAN7/3	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME303	GE-WAN7/3	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	89,63	-	35 (%)	-	76,83	-	Sim	-
CTAME303	GE-WAN7/4	BE	Desabilitada	Diminuição	-	70 (%)	0	-	65 (%)	-	0	-	Sim	-
CTAME303	GE-WAN7/4	EF	Habilitada	Aumento	-	30 (%)	89,63	-	35 (%)	-	76,83	-	Sim	-
CTAME303	POS8/1	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
CTAME303	POS8/1	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	297,37	132,17	95 (%)	50 (%)	93,91	79,3	Não	Sim
CTAME303	POS8/3	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
CTAME303	POS8/3	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	287,13	127,6	95 (%)	50 (%)	90,67	76,56	Não	Sim
LDAJC300	POS11/1/0	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
LDAJC300	POS11/1/0	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	292,23	129,87	95 (%)	50 (%)	92,28	77,92	Não	Sim
LDAJC300	POS12/1/0	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
LDAJC300	POS12/1/0	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	293,6	130,5	95 (%)	50 (%)	92,72	78,3	Não	Sim
LDAJC301	POS0/1/0	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
LDAJC301	POS0/1/0	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	287	127,57	95 (%)	50 (%)	90,63	76,54	Não	Sim
LDAJC301	POS12/1/0	BE	Desabilitada	Diminuição	Diminuição	70 (%)	0	0	5 (%)	50 (%)	0	0	Sim	Sim
LDAJC301	POS12/1/0	EF	Habilitada	Aumento	Aumento	30 (%)	283,33	125,93	95 (%)	50 (%)	89,47	75,56	Não	Sim

O resultado das métricas para responder as questões do objetivo 3 - Avaliar através de Figuras de mérito a qualidade das chamadas de voz introduzidas na rede IP, com a revisão da configuração de políticas de QoS na rede IP encontram-se resumidas na Tabela 6-34. Note que a taxa média de perda de pacotes diminuiu drasticamente, se enquadrando na escala estabelecida, e que não há mais valores de MOS menores que 4,0. Os resultados para as demais métricas encontram-se dentro das escalas estabelecidas.

Tabela 6-34: Resultado das métricas de GQM para objetivo 3

	QUESTÕES	MÉTRICAS	ESCALA	RESULTADOS
Objetivo 3	Questão 1.1: Qual é o valor MOS?	O valor do MOS foi obtido através do software SP GURU da OPNET	$4.0 \leq \text{valor MOS} \leq 4.5$	CODEC G.711 – $4,364 \leq \text{MOS} \leq 4,388$ CODEC G.729 – $4,059 \leq \text{MOS} \leq 4,098$
	Questão 1.2: Qual é a taxa de perda de pacotes?	Métrica 1.2 Percentual de pacotes perdidos M 1.2.= (Qtd de pacotes perdidos/ Qtd total de pacotes)*100	taxa média de perda de pacotes $\leq 0.25\%$	CODEC G.711 – 0% CODEC G.729 – 0%
	Questão 1.3 Qual é o atraso fim-a-fim medido entre os fluxos de voz importados da rede RTPC?	Métrica 1.3 atraso fim-a-fim (da origem até o destino) é a soma dos atrasos nodais M 1.3 = $d_{\text{fim-a-fim}}$ = $N(d_{\text{proc}}+d_{\text{trans}}+d_{\text{prop}}+d_{\text{CODEC}}+d_{\text{de jitter buffer}})$ N = número de pacotes d_{proc} = atraso de processamento em cada roteador e na origem d_{trans} = atraso de transmissão = L/R onde L bits é o tamanho médio do pacote e R bits/s é a taxa de transmissão de cada roteador d_{prop} = atraso de propagação em cada enlace d_{CODEC} = atraso do CODEC $d_{\text{de jitter buffer}}$ = atraso do <i>de jitter buffer</i>	0-150ms: atraso máximo em uma conversa telefônica unidirecional	33,33% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $50\text{ms} \leq d < 60\text{ms}$ 12,06% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $50\text{ms} \leq d < 60\text{ms}$ 24,47% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $60\text{ms} \leq d < 70\text{ms}$ 39,72% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $60\text{ms} \leq d < 70\text{ms}$ 16,67% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre $70\text{ms} \leq d < 80\text{ms}$ 11,35% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso entre $70\text{ms} \leq d < 80\text{ms}$ 19,86% dos fluxos de voz CODEC G.711 com atraso entre

				<p>90ms≤d<150ms</p> <p>8,51% dos fluxos de voz CODEC G.729A com atraso maior que 90ms≤d<150ms</p>
	<p>Questão 1.4: Qual é o jitter existente nos fluxos de voz importados da rede RTPC?</p>	<p>Métrica 1.4 Variação em tempo (segundos) da taxa de chegada (variação de atraso na rede) de pacotes que foram transmitidos de forma uniforme</p> <p>M 1.4.= atraso máximo – atraso mínimo → cálculo realizado pelo software SP GURU</p>	<p>5-10ms: valor aceitável de jitter por nó</p>	<p>25,53% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0ms de jitter</p> <p>86,52% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0ms de jitter</p> <p>60,99% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,001ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,001ms de jitter</p> <p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,02ms de jitter</p> <p>13,48% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,02ms de jitter</p> <p>0,35% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,021ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,021ms de jitter</p> <p>6,03% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,022ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,022ms de jitter</p> <p>6,74% dos fluxos de voz CODEC G.711 com 0,127ms de jitter</p> <p>0% dos fluxos de voz CODEC G.729A com 0,127ms de jitter</p>

As Tabela 6-35 e 6-36 apresentam uma comparação dos valores de MOS obtidos nos três cenários estudados. Note que com a revisão da configuração de QoS, o valor do MOS aumentou consideravelmente para os piores casos dos tráfegos que utilizaram o CODEC G.711.

O Gráfico da Figura 6-14 apresenta os valores de MOS para todos os 282 fluxos de voz. É possível verificar que os valores estão mais homogêneos e que os fluxos de voz com o CODEC G.711 sempre apresentam maiores valores de MOS em relação aos fluxos de voz com o CODEC G.729A.

Tabela 6-35: MOS G.711 – rede IP com QoS revisado

Nome do Fluxo	Numeração	MOS G.711 sem QoS	MOS G.711 com QoS	MOS G.711 com QoS - revisado
CPECE300-->LDAJC300	92	1,066	1,066	4,371
CBACE300-->LDAJC300	66	1,068	1,068	4,373
GNACE303-->LDAJC300	186	1,07	1,07	4,376
PAEBV302-->LDAJC300	257	1,074	1,074	4,381
PAEMT302-->LDAJC300	277	1,074	1,074	4,381
BNUT3300-->LDAJC300	10	1,075	1,075	4,382
FNSCE300-->LDAJC300	156	1,075	1,075	4,382
MGANM300B-->LDAJC300	231	1,075	1,075	4,382
CTAME303-->LDAJC300	141	1,08	1,08	4,388
CTAJE300-->LDAJC300	122	1,082	1,082	4,388
LDAJC300-->CPECE300	209	2,073	2,073	4,371
LDAJC300-->CBACE300	208	2,078	2,078	4,373
LDAJC300-->PAEBV302	214	2,096	2,096	4,381
LDAJC300-->PAEMT302	215	2,096	2,096	4,381
LDAJC300-->BNUT3300	207	2,098	2,098	4,382
LDAJC300-->FNSCE300	212	2,098	2,098	4,382
LDAJC300-->MGANM300B	213	2,099	2,099	4,382
LDAJC300-->CTAME303	211	2,111	2,111	4,388
LDAJC300-->CTAJE300	210	3,033	3,033	4,388

Tabela 6-36: MOS G.729A – rede IP com QoS revisado

Nome do Fluxo	Numeração	MOS G.729A sem QoS	MOS G.729A com QoS	MOS G.729A com QoS - revisado
BNUT3300-->CPECE300	4	4,059	4,059	4,059
BNUT3301B-->CPECE301	17	4,059	4,059	4,059
CPECE300-->BNUT3300	83	4,059	4,059	4,059
CPECE300-->FNSCE300	89	4,059	4,059	4,059
CPECE301-->BNUT3301B	96	4,059	4,059	4,059
CPECE301-->FNSES300	102	4,059	4,059	4,059
FNSCE300-->CPECE300	151	4,059	4,059	4,059
FNSES300-->CPECE301	164	4,059	4,059	4,059

BNUT3300-->CBACE300	3	4,063	4,063	4,063
BNUT3301B-->CBACE301	16	4,063	4,063	4,063
CBACE300-->BNUT3300	57	4,063	4,063	4,063
CBACE300-->FNSCE300	63	4,063	4,063	4,063
CBACE301-->BNUT3301B	70	4,063	4,063	4,063
CBACE301-->FNSES300	76	4,063	4,063	4,063
FNSCE300-->CBACE300	150	4,063	4,063	4,063
FNSES300-->CBACE301	163	4,063	4,063	4,063
CPECE300-->PAEBV302	94	4,066	4,066	4,066
CPECE300-->PAEMT302	95	4,066	4,066	4,066
CPECE301-->PAEBV302	107	4,066	4,066	4,066

O Gráfico da Figura 6-15 apresenta os valores de atraso fim-a-fim para todos os 282 fluxos de voz. É possível verificar que os valores do atraso fim-a-fim dos fluxos de voz com o CODEC G.711 sempre apresentam menores valores em relação aos fluxos de voz com o CODEC G.729A.

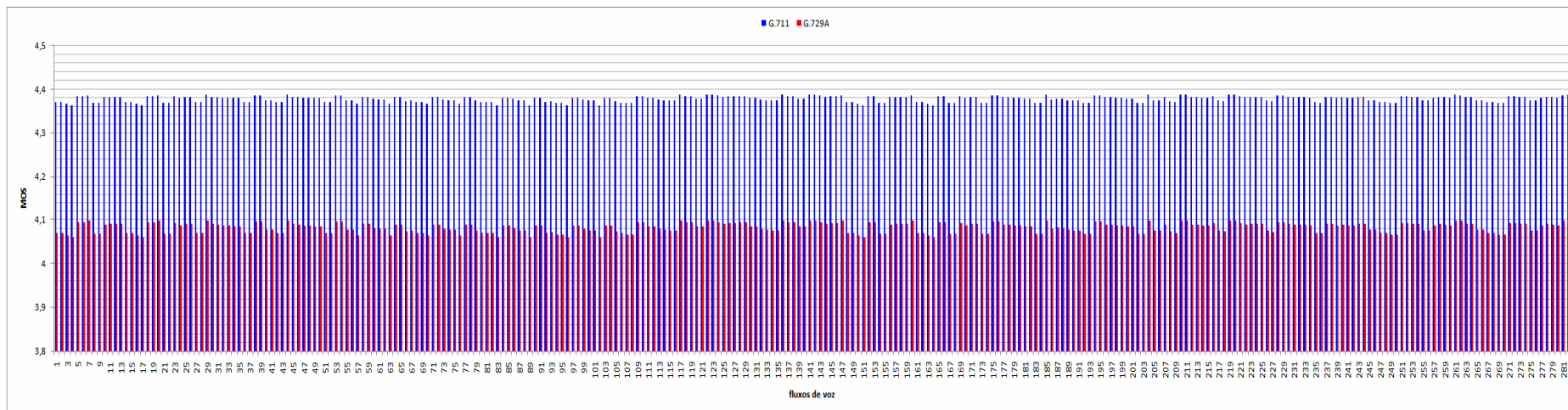


Figura 6-14 - Gráfico MOS após revisão configuração QoS

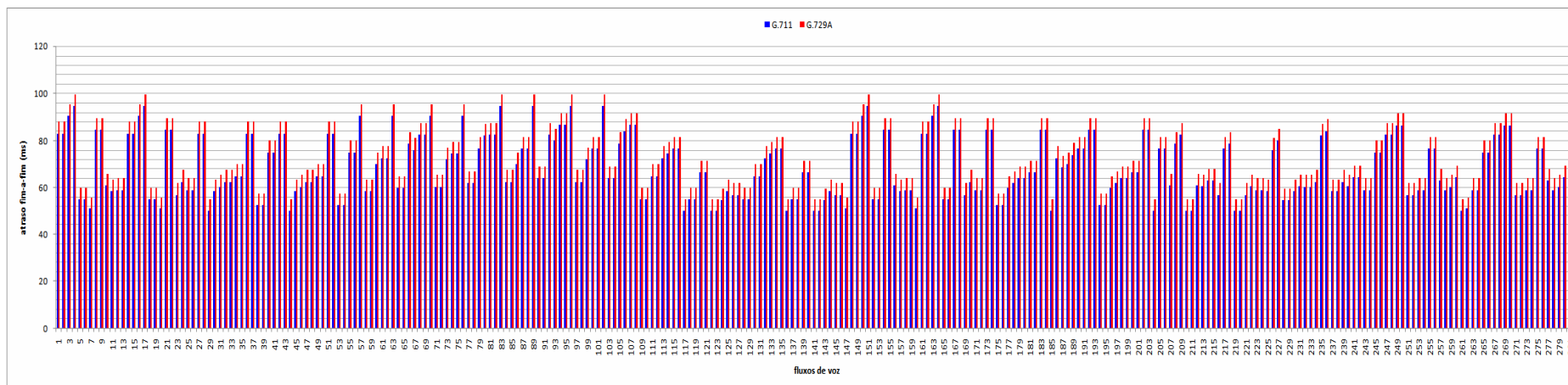


Figura 6-15 - Gráfico atraso fim-a-fim após revisão configuração QoS

As Tabelas 6-37 e 6-38 apresentam uma comparação dos piores valores de atraso entre os cenários em análise. Nota-se que a configuração de QoS, tanto a inicial como a revisada, afetou muito pouco os valores de atraso fim-a-fim para os fluxos de voz com CODEC G.711. Para os fluxos de voz com o CODEC G.729A houve uma mínima alteração mas somente após a revisão da configuração de QoS. A diminuição do valor de atraso fim-a-fim com a aplicação de QoS na rede IP, foco desse estudo, foi mínima. É possível verificar que os valores dos fluxos de voz com CODEC G.711 são inferiores aos valores dos fluxos de voz com o CODEC G.729A.

Tabela 6-37: Atraso fim-a-fim G.711 – rede IP com QoS revisado

Nome do Fluxo	Numeração	Atraso G.711 sem QoS	Atraso G.711 com QoS	Atraso G.711 com QoS revisado
CPECE300-->BNUT3300	83	94,544	94,541	94,541
CPECE300-->FNSCE300	89	94,543	94,541	94,541
CPECE301-->BNUT3301B	96	94,544	94,541	94,541
CPECE301-->FNSES300	102	94,543	94,541	94,541
BNUT3300-->CPECE300	4	94,527	94,525	94,525
BNUT3301B-->CPECE301	17	94,527	94,525	94,525
FNSCE300-->CPECE300	151	94,527	94,525	94,525
FNSES300-->CPECE301	164	94,526	94,525	94,525
CBACE300-->BNUT3300	57	90,54	90,538	90,538
CBACE300-->FNSCE300	63	90,539	90,537	90,537
CBACE301-->BNUT3301B	70	90,54	90,537	90,537
CBACE301-->FNSES300	76	90,539	90,537	90,537
BNUT3300-->CBACE300	3	90,524	90,521	90,521
BNUT3301B-->CBACE301	16	90,524	90,521	90,521
FNSCE300-->CBACE300	150	90,523	90,521	90,521
FNSES300-->CBACE301	163	90,523	90,521	90,521
CPECE300-->PAEBV302	94	86,541	86,54	86,54
CPECE300-->PAEMT302	95	86,541	86,54	86,54
CPECE301-->PAEBV302	107	86,541	86,54	86,54

Tabela 6-38: Atraso fim-a-fim G.729A – rede IP com QoS revisado

Nome do Fluxo	Numeração	Atraso G.729A sem QoS	Atraso G.729A com QoS	Atraso G.729A com QoS revisado
CPECE300-->BNUT3300	83	99,541	99,541	99,539
CPECE301-->BNUT3301B	96	99,541	99,541	99,539
CPECE300-->FNSCE300	89	99,541	99,541	99,539
CPECE301-->FNSES300	102	99,541	99,541	99,539
BNUT3300-->CPECE300	4	99,524	99,524	99,523
BNUT3301B-->CPECE301	17	99,524	99,524	99,523
FNSCE300-->CPECE300	151	99,524	99,524	99,523
FNSES300-->CPECE301	164	99,524	99,524	99,523
CBACE300-->BNUT3300	57	95,537	95,537	95,535

CBACE301-->BNUT3301B	70	95,537	95,537	95,535
CBACE300-->FNSCE300	63	95,537	95,537	95,535
CBACE301-->FNSSES300	76	95,537	95,537	95,535
BNUT3300-->CBACE300	3	95,521	95,521	95,519
BNUT3301B-->CBACE301	16	95,521	95,521	95,519
FNSCE300-->CBACE300	150	95,521	95,521	95,519
FNSSES300-->CBACE301	163	95,521	95,521	95,519
CPECE300-->PAEBV302	94	91,539	91,539	91,538
CPECE300-->PAEMT302	95	91,539	91,539	91,538
CPECE301-->PAEBV302	107	91,539	91,539	91,538
CPECE301-->PAEMT302	108	91,539	91,539	91,538

As Tabelas 6-39 e 6-40 contêm os valores mais altos de variação do atraso, para os cenários analisados, sem configuração de QoS, com configuração de QoS e com a revisão da configuração de QoS. Ao comparar os valores nota-se que houve um aumento da variação do atraso com a configuração de QoS. Isso mostra que havia erros na configuração inicial de QoS, que foram corrigidos com a revisão da configuração de QoS. O *jitter* remanescente pode ser tratado com *de jitter* buffers no host de destino, que armazenam os pacotes brevemente antes de encaminhá-los de maneira adequada, sem *jitter* (SEMERIA; STEWART III, 2001).

Tabela 6-39: Variação do atraso (jitter) G.711 – rede IP com QoS revisado

Nome do Fluxo	Numeração	Jitter G.711 sem QoS (ms)	Jitter G.711 com QoS (ms)	Jitter G.711 com QoS revisado (ms)
CPECE300-->LDAJC300	92	0,162	0,206	0,127
CBACE300-->LDAJC300	66	0,162	0,206	0,127
GNACE303-->LDAJC300	186	0,162	0,206	0,127
PAEBV302-->LDAJC300	257	0,162	0,206	0,127
PAEMT302-->LDAJC300	277	0,162	0,206	0,127
BNUT3300-->LDAJC300	10	0,162	0,206	0,127
FNSCE300-->LDAJC300	156	0,162	0,206	0,127
MGANM300B-->LDAJC300	231	0,162	0,206	0,127
CTAME303-->LDAJC300	141	0,162	0,206	0,127
CTAJE300-->LDAJC300	122	0,162	0,206	0,127
LDAJC300-->CPECE300	209	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->CBACE300	208	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->PAEBV302	214	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->PAEMT302	215	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->BNUT3300	207	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->FNSCE300	212	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->MGANM300B	213	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->CTAME303	211	0,146	0,153	0,127
LDAJC300-->CTAJE300	210	0,144	0,149	0,127

Tabela 6-40: Variação do atraso (*jitter*) G.729A – rede IP com QoS revisado

Nome do Fluxo	Numeração	Jitter G.729A sem QoS (ms)	Jitter G.729A com QoS (ms)	Jitter G.729A com QoS revisado (ms)
CPECE300-->LDAJC300	92	0,017	0,017	0,002
CBACE300-->LDAJC300	66	0,017	0,017	0,002
GNACE303-->LDAJC300	186	0,017	0,017	0,002
PAEBV302-->LDAJC300	257	0,017	0,017	0,002
PAEMT302-->LDAJC300	277	0,017	0,017	0,002
BNUT3300-->LDAJC300	10	0,017	0,017	0,002
FNSCE300-->LDAJC300	156	0,017	0,017	0,002
MGANM300B-->LDAJC300	231	0,017	0,017	0,002
CTAME303-->LDAJC300	141	0,017	0,017	0,002
CTAJE300-->LDAJC300	122	0,017	0,017	0,002
LDAJC300-->BNUT3300	207	0,008	0,008	0,002
LDAJC300-->FNSCE300	212	0,008	0,008	0,002
CPECE300-->BNUT3300	83	0,006	0,006	0
CBACE300-->BNUT3300	57	0,006	0,006	0
CBACE301-->BNUT3301B	70	0,006	0,006	0
GNACE303-->BNUT3300	173	0,006	0,006	0
GNACE304-->BNUT3300	192	0,006	0,006	0
BSACE306-->BNUT3300	27	0,006	0,006	0
BSACO300-->BNUT3300	42	0,006	0,006	0
BSACO300-->BNUT3301B	43	0,006	0,006	0

O Gráfico da Figura 6-16 demonstra a variação do atraso para os 282 fluxos de voz, tanto utilizando o CODEC G.711 como o CODEC G.729A. A variação do atraso para o CODEC G.711 foi maior que para CODEC G.729A. Para alguns fluxos de voz que utilizaram o CODEC G.729A, não houve variação de atraso.

A revisão da configuração de QoS zerou a perda de pacote de fluxos de voz, tanto para o CODEC G.711 quanto para o CODEC G.729A.

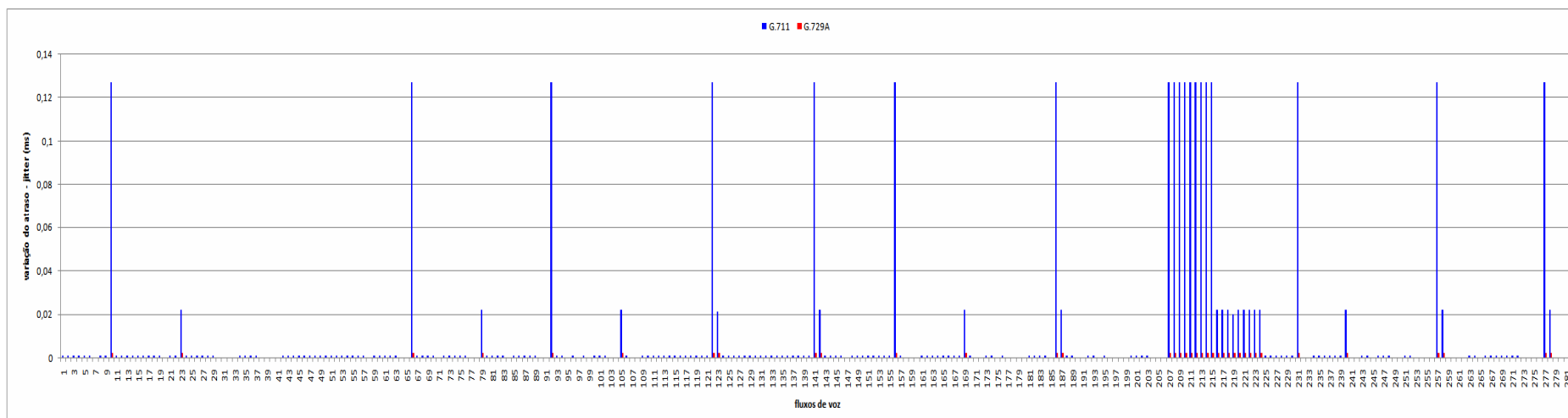


Figura 6-16 - Gráfico da variação do atraso após revisão da configuração de QoS

De acordo com os resultados das simulações e análises realizadas, para que as chamadas de voz provenientes da rede RTPC tenham qualidade satisfatória, identificou-se as seguintes necessidades de melhoria na rede IP do provedor de serviço de telecomunicações, escopo desse trabalho:

- i. Configurar política de QoS nas interfaces dos roteadores com no mínimo duas filas, uma para tráfego de melhor esforço (BE) e outra para tráfego com marcação EF;
- ii. Na grande maioria das interfaces dos roteadores a fila BE deve ser configurada com 70% do total da largura de banda da interface e a fila EF com 30% do total da largura de banda da interface. As exceções a tal regra estão listadas na Tabela 6-33;
- iii. Para alguns poucos enlaces, a melhor maneira de garantir que a qualidade das chamadas de voz seja semelhante a qualidade da RTPC é necessário realizar um redimensionamento de largura de banda, ou com o acréscimo de mais um enlace paralelo ao já existente ou trocando a tecnologia do enlace (para uma tecnologia que ofereça maior largura de banda).

Apesar dos resultados satisfatórios, foram encontradas diversas dificuldades ao longo da realização desse trabalho, tais como:

- i. documentação do software SP Guru *Network Planner* insatisfatória, sem detalhes, ferramenta de busca da documentação não é conclusiva;
- ii. *bugs* no software SP Guru *Network Planner*, detalhados na Tabela 7-1;
- iii. dificuldade e demora em obter esclarecimentos, através do suporte técnico da OPNET, sobre resultados e relatórios gerados pelos software de simulação SP Guru *Network Planner*;
- iv. formato de arquivos para importação de dados para o software de simulação SP Guru *Network Planner* demandou a elaboração de varias macros para o Excel;
- v. coleta de dados sobre utilização de enlaces da rede IP em produção foi demorada e problemática

6.3.7 Avaliação do Desempenho de Pacotes com Diferentes Números de Amostras de Voz

De acordo com ODOM e CAVANAUGH (2005) é comum cada pacote ter 20ms de voz no *payload* ou, em outras palavras, 2 amostras de voz por pacote. Como nessa dissertação foi

utilizada 1 amostra de voz por pacote, a seguir será avaliado, para fins de comparação, o desempenho dos pacotes com diferentes números de amostras de voz.

Conforme equação 6-1 e Tabela 6-9, a taxa, em bps, dos pacotes com 1 amostra de voz é 96kbps para o CODEC G.711 e 40kbps para o CODEC G.729A. Seguindo a equação 6-1 e as informações da Tabela 6-41 a taxa, em bps, dos pacotes com 2 amostras de voz está listada na Tabela 6-42.

Tabela 6-41: Atributos de cada CODEC no software SP GURU – 2 amostras de voz/pacote

CODEC & TAXA DE BITS (BPS)	TAMANHO DA AMOSTRA DO CODEC (BYTES)	INTERVALO ENTRE AMOSTRAS DO CODEC (MS)	TAMANHO DO PAYLOAD DE VOZ		TAXA DE PACOTES POR SEGUNDO (pps)
			bytes	ms	
G.711 64kbps	80	20	160	20	50
G.729A 8kbps	10	20	20	20	50

Tabela 6-42: Banda consumida por pacote de voz (com 2 amostras de voz)

CODEC	BANDA CONSUMIDA POR CADA PACOTE (BPS)
G.711	80000
G.729A	24000

Devido à redução da banda consumida pelo pacote com 2 amostras de voz é esperada uma redução na utilização da largura de banda dos enlaces do *backbone* IP em estudo. Essa análise de desempenho será baseada nos resultados obtidos para o CODEC G.729A.

Utilizando dados da ferramenta *Traffic Center*, do software SP GURU *Network Planner*, realmente houve uma redução no total de tráfego gerado pelos fluxos de voz (Tabela 6-43).

Tabela 6-43: Comparação tráfego existente no backbone IP

NÚMERO DE AMOSTRAS DE VOZ POR PACOTE	VOLUME DE TRÁFEGO EXISTENTE NOS ENLACES	VOLUME DE TRÁFEGO GERADO PELOS FLUXOS DE VOZ	VOLUME TOTAL
1	741.6 TB	11.028 TB	752.628TB

2	741.6 TB	6.6 TB	748.2TB
---	----------	--------	---------

Conforme Tabela 6-43 o volume gerado pelos fluxos de voz com pacotes com 2 amostras de voz diminuiu aproximadamente 40% em relação aos pacotes com 1 amostra de voz. O volume total, por sua vez, reduziu aproximadamente 0,5%.

Os resultados das simulações da ferramenta *Flow Analysis* consideram, em conjunto, tanto os fluxos como o tráfego de dados, já existente nos enlaces. Portanto, nos relatórios gerados pela ferramenta *Flow Analysis* a redução deve ser de aproximadamente 0,5% e não de 40%.

A Tabela 6-44 apresenta os resultados obtidos para uma simulação realizada pela ferramenta *Flow Analysis* no 30º intervalo do tempo total de simulação (13:00h)

Tabela 6-44: Comparação tráfego existente no *backbone* IP

		Número intervalo:	30
		Horário do relatório:	13:00:00h
RESULTADO FLOW ANALYSIS (GBPS)	1 AMOSTRA DE VOZ	2 AMOSTRAS DE VOZ	% ALTERADO
Volume total (Gbps)	107,15	103,61	3,31%
Volume fluxos de voz (Gbps)	8,06	4,52	43,96%

É importante ressaltar que as ferramentas *Traffic Center* e *Flow Analysis* não analisam o mesmo intervalo de tempo. Os resultados da ferramenta *Flow Analysis* se baseiam em um intervalo específico enquanto a ferramenta *Traffic Center* reporta uma estimativa do tráfego total. Portanto, a análise deve se basear nas proporções e não nos valores absolutos.

Considerando as proporções envolvidas, a diferença de valores entre a ferramenta *Traffic Center* e a ferramenta *Flow Analysis* (3.31% vs 0.5%) é resultado do cabeçalho camada 2 adicionado pela ferramenta *Flow Analysis*.

A ferramenta *Traffic Center* gera relatórios somente baseado no que foi informado (configurado), não considerando o cabeçalho da camada de enlace. Em contrapartida, a ferramenta *Flow Analysis* detecta as camadas utilizadas para o transporte do pacote até o destino e adiciona os cabeçalhos apropriados. Além disso, a ferramenta *Flow Analysis* assume que o tráfego foi coletado na camada de rede, assumindo que todo e qualquer cabeçalho da camada de rede, e acima desta, já está sendo considerado.

Ou seja, a ferramenta *Flow Analysis* considera todas as fontes de tráfego e fluxos. Como o tráfego já existente no enlace (importado para o software SP GURU *Network Planner*) é muito maior que os fluxos de voz importados da rede RTPC, a modificação do número de amostras de voz por pacote não causa grande impacto na utilização total de cada enlace nem nas métricas estabelecidas para o GQM. A adição do cabeçalho da camada de enlace causará as diferenças (previstas) entre a ferramenta *Flow Analysis* e a ferramenta *Traffic Center*.

7 CONCLUSÕES

No mercado competitivo atual, uma preocupação constante dos provedores de serviço de telecomunicações é com a qualidade das chamadas de voz que trafegam por seus *backbones* IP. Uma das características de *backbones* IP que afetam a qualidade das chamadas de voz é a disponibilidade de banda. Se o tráfego existente no *backbone* IP em análise for suficiente para superar a capacidade dos enlaces, a qualidade das chamadas de voz precisará ser garantida através de mecanismos de QoS.

Diante desta necessidade, este trabalho teve como objetivo analisar, por meio de simulações computacionais utilizando software da OPNET, o impacto da migração dos serviços de voz, oferecidos atualmente na RTPC de um provedor de serviço de telecomunicações brasileiro para seu *backbone* IP. Essa análise baseou-se nos valores obtidos de MOS, utilização do enlace, perda de pacote, latência e variação do atraso. Também foi objetivo do trabalho verificar a necessidade de implantação de políticas de QoS, mencionada na Tabela 6-33, para que a qualidade das chamadas de voz na rede IP fosse semelhante à qualidade das chamadas de voz na RTPC.

Para atender o objetivo, foi simulada a rede IP do provedor de telecomunicações em estudo por meio da importação da configuração dos roteadores, do tráfego de dados já existente nos enlaces entre os roteadores da rede IP em produção e, por último, por meio da adição do tráfego de voz real importado da rede RTPC para a rede IP, sem aplicação de configuração de QoS. A carga existente nos enlaces foi coletada em intervalos de 30 minutos, durante 24 horas, a partir da ferramenta web Cacti, que supre a falta de um *front-end* "oficial" do RRDTOOL (ferramenta usada para monitorar servidores e equipamentos). Para coletar o tráfego da RTPC que passaria a utilizar a rede IP como meio de transporte foram observadas as taxas de ocupação (em *Erlang*) de cada central telefônica do tipo N1. A frequência de coleta foi de hora em hora, durante 24 horas. As taxas de ocupação das centrais foram obtidas através da página web do sistema de administração de tráfego – SATWEB, conforme detalhado na seção 6.2.4. O tráfego de voz foi importado utilizando primeiramente o CODEC G.711 e, para fins de comparação, foi removido da rede e importado novamente utilizando o CODEC G.729A. Pelo resultado da primeira simulação

conclui-se que os valores de MOS para alguns fluxos de voz estavam abaixo do nível aceitável e que havia perda de pacotes de voz, para os dois CODECs utilizados.

Devido aos resultados negativos da primeira simulação, a rede IP do provedor de telecomunicações em estudo foi simulada com a aplicação de configuração de QoS. Observou-se ainda a presença de baixos valores de MOS para fluxos de voz utilizando o CODEC G.711, indicando que o QoS não estava configurado apropriadamente.

Como ainda existiam resultados não satisfatórios de perda de pacotes, nova simulação foi realizada na rede IP do provedor de telecomunicações em estudo, com uma revisão da configuração de QoS aplicada na simulação anterior. Esta terceira e última simulação apresentou valores de MOS, atraso, *jitter* satisfatórios, sem perda de pacotes.

Pelos resultados das simulações conclui-se que políticas de qualidade de serviço precisam ser configuradas no *backbone* IP do provedor de serviço de telecomunicações em estudo para que o mesmo receba adequadamente o tráfego de voz proveniente da RTPC. Com a aplicação das políticas de qualidade de serviço, a perda dos pacotes de voz cessou e o valor de MOS melhorou. Já os valores de atraso e *jitter* não sofreram alterações drásticas com a implantação de políticas de qualidade de serviço.

Foi possível concluir também, que como o tráfego já existente no enlace (importado para o software SP GURU *Network Planner*) era muito maior que os fluxos de voz importados da rede RTPC, a modificação do número de amostras de voz por pacote não causou grande impacto na utilização total de cada enlace nem nas métricas estabelecidas para o GQM.

Como o software da OPNET possibilita escolher o CODEC utilizado pelos fluxos de voz importados da RTPC para o *backbone* IP, foi possível concluir que o CODEC G.729A apresenta, entre os parâmetros medidos, menores valores de MOS e maiores valores de atrasos que o CODEC G.711. Como os valores de MOS obtidos com o uso do CODEC G.729A, após a aplicação das políticas de QoS, foram aceitáveis e dada a razoável economia de utilização de banda provocada por este CODEC, conclui-se que a adoção deste CODEC pode ser uma escolha atraente para o provedor de serviço de telecomunicações em estudo.

Baseado nos resultados obtidos as destacam-se as seguintes contribuições:

- i. Estudo sobre rede IP do provedor de serviço de telecomunicações brasileiro comprovou que é necessário implantar mecanismos de QoS para que as chamadas de voz migradas da RTPC mantenham qualidade semelhante aos da RTPC
- ii. Definição de proposta de políticas de QoS para preparar *backbone* IP do provedor de serviço de telecomunicações em estudo para receber, em larga escala, o tráfego de voz da RTPC
- iii. Comparação entre o desempenho do tráfego de voz migrado da RTPC para o *backbone* IP utilizando o CODEC G.711 e G.729A constatou que o CODEC G.729A pode ser utilizado na migração, dada a economia de utilização de banda proporcionada.

Durante a realização deste estudo detectou-se alguns problemas (*bugs*) no software SP GURU, da OPNET. As que mais impactaram na realização das simulações de rede e suas respectivas soluções são apresentadas na Tabela 7- 1 a seguir.

Tabela 7-1 - Problemas detectados no software da OPNET

PROBLEMA	SOLUÇÃO
SPR (<i>Software Problem Report</i>) 105876 - Demandas são corretamente roteadas, mas possuem contador de saltos zerado. O bug foi detectado em 01/10/2007.	Foi desenvolvido um <i>patch</i> para solucionar problema. O tempo gasto para desenvolver o <i>patch</i> foi aproximadamente 7 dias.
SPR 108076 - Ferramenta <i>Flow Analysis</i> tratava os valores indefinidos, quando deveria assumir-los como zero. O <i>bug</i> foi detectado em 05/12/2007.	Ainda sob investigação da OPNET. OPNET informou método para contornar problema detectado.
SPR 112454 – Os resultados apresentados no relatório de utilização do enlace e no relatório de utilização da interface do roteador não eram iguais. Esta diferença causou insegurança quanto a qual resultado estaria correto. O <i>bug</i> foi detectado em 19/03/2008.	Foi desenvolvido um <i>patch</i> para solucionar problema. Patch foi disponibilizado em 27/03/08.

Além dos problemas listados na Tabela 7-1, destacou-se o fato do software SP GURU *Network Planner* não rotear a carga existente em um enlace, uma vez que a carga não informa sobre a fonte e o destino dos pacotes IP. Devido a essa limitação, não foi possível analisar o impacto da implementação de enlaces adicionais ou o impacto do tráfego de voz no tráfego de dados já existente na rede IP. Fluxos de tráfego, por outro lado, são fluxos fim-a-fim (de um endereço IP a outro endereço IP) e podem ser roteados. Assim, como o tráfego de voz da RTPC foi importado como fluxos, foi possível o seu roteamento e análise do comportamento e qualidade da voz no *backbone* IP.

A conversão da carga existente no enlace para fluxos de tráfego foi uma das tentativas para superar a do software SP Guru *Network Planner* de não rotear a carga existente em um enlace. Quando a carga de um enlace é convertida para fluxos a informação sobre a carga é usada para estimar a matriz de fluxo de tráfego que, roteada na rede, gera valores de utilização de enlaces semelhantes aos importados por meio do arquivo .gbu2. Isto resultaria, matematicamente, em uma "conservação da utilização" dos enlaces. Esta conversão foi realizada, mas o percentual de conversão de carga de enlace para fluxos não foi satisfatório. A sugestão inicial da OPNET para contornar o problema, foi tentar importar os fluxos de dados da rede em produção, que poderiam ser roteados pela rede. Essa idéia foi logo desaconselhada uma vez que o software SP Guru *Network Planner* não suportaria o volume de fluxos que seria importado.

Dando continuidade ao trabalho realizado, antes da implementação em larga escala da política de QoS sugerida, é necessário verificar o comportamento do tráfego em um laboratório que represente a rede em produção (com mesmos equipamentos e mesmas versões de software). As limitações do software SP GURU da OPNET estão mapeadas e serão superadas nas próximas versões do software. Seria interessante realizar um estudo com foco no impacto que o tráfego de voz importado para o *backbone* IP em produção causaria no tráfego já existente na rede, tirando os holofotes do tráfego de voz importado da RTPC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASILI, V.; CALDIERA, G.; ROMBACH, H. Goal Question Metric paradigm. In: **Encyclopedia of Software Engineering**. v. 2, p. 527 –532, 1994.
- BLACK, D. **Building Switched Networks**. Reading, MA, EUA: Addison Wesley. 1ª ed. 1999, 297p.
- CARVALHO L. et al. An E-Model Implementation for Speech Quality Evaluation in VoIP Systems. In: **10th IEEE Symposium on Computers and Communications. Proceedings**. 2005.
- CISCO. **Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption**. Document ID: 7934. Disponível em: <http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml>. Acesso em: 20 mar. 2008.
- COVERDALE, P. **Voice over IP voice quality**. ITU-T, SG 15, Delayed Contribution D.041, Feb. 1998.
- CSIK, B. Simulation of a large scale ATM network with VoIP traffic, **ProfitTrade 90 Ltd, S.l., S.d.**
- DAVIDSON, J; PETERS, J. **Voice over IP fundamentals**. Indianapolis, IN, EUA: Cisco Press. 1ª ed., 2000, 373p.
- FILSFILS, C.; EVANS, J. Engineering a multiservice IP backbone to support tight SLAs. **Computer Networks**, v. 40, p. 131-148, 2002.
- FINEBERG, V. A Practical Architecture for Implementing End-to-End QoS in an IP Network. **IEEE Communications Magazine**, p. 122-130, Jan. 2002.
- FITZGERALD, J.; DENNIS, A. **Comunicações de dados empresariais e redes**. Rio de Janeiro: LTC. 7ª ed., 2005, 370p.

- How does load balancing work?** Aug. 2005. Disponível em: <http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_tech_note09186a0080094820.shtml>. Acesso em: 15 mar. 2008.
- HUNT, G.; ARDEN, P. QoS requirements for a voice-over IP PSTN. **BT Technology Journal**. V. 23, p. 37 – 47, Apr. 2005.
- JAMES, J.H.; CHEN, B.; GARRISON, L. Implementing VoIP: A voice transmission performance progress report. **IEEE Communications Magazine**. P. 36-41, Jul. 2004.
- JOHNSON, C. R.; et al. VoIP Reliability: a service provider's perspective. **IEEE Communications Magazine**. P. 48-54, Jul. 2004.
- KUROSE, J.; ROSS, K. **Redes de Computadores e a Internet**. São Paulo: Addison Wesley. Trad. da 3ª ed., 2006, 634p.
- MARKOPOULOU, A. P.; TOBAGI, F. A.; KARAN, M. J. Assessing the quality of voice communications over Internet backbones. **IEEE/ACM Transactions on Networking**. V. 11, n. 5. p. 747 – 760, Oct. 2003.
- MASE, K. Toward scalable admission control for VoIP networks. **IEEE Communications Magazine**. P. 42 – 47, Jul. 2004.
- MEHMOOD, M. A.; JADOON, T.M.; SHEIKH, N. M. Evaluation of VoIP Quality over the Pakistan Internet Exchange (PIE) Backbone. In: **IEEE International Conference on Emerging Technologies, 2005. Proceedings**. Islamabad, Pakistan, Sep.17-18 2005.
- ODOM, W.; CAVANAUGH, M. **CISCO QoS Exam Certification Guide**. 2ª ed. Indianapolis, IN, EUA: Cisco Press. 2005, 768p.

OPNET SP Guru *Network Planner* : Network Planning and Engineering for Service

Providers Disponível em:

<http://www.opnet.com/solutions/capacity_planning/spguru_network_planner.html>.

Acesso em 15 out de 2007

Per-packet load balancing. Feb. 2006. Disponível em:

<http://www.cisco.com/en/US/docs/ios/12_0s/feature/guide/pplb.html>. Acesso

em: 15 mar. 2008.

POTEMANS, J et al. Simulation of a Campus Backbone Network, a case- study. In:

OPNETWORK, 2002. Proceedings. Washington D.C., EUA, Aug. 2002

RFC 1349. Type of service in the Internet protocol suite. Internet Engineering Task Force.

ALMQUIST, P. Jul. 1992.

RFC 1889. RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. Internet Engineering

Task Force. SCHULZRINNE, H. et al. Jan. 1996. Disponível em: <<http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/1889/index.html>>.

Acesso em 27 out. 2007

RFC 2474. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6

Headers. Internet Engineering Task Force. NICHOLS, K. et al. Dez. 1998.

Disponível em: <<http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/2474/index.html>>. Acesso em 24

out. 2007

RFC 2597. Assured Forwarding PHB Group. Internet Engineering Task Force.

HEINANEN, J. et al. Jun., 1999. Disponível em: <<http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/2597/index.html>>.

Acesso em 14 out. 2007.

RFC 3246. An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior). Internet Engineering Task

Force. DAVIE, B. et al. Mar. 2002. Disponível em: <<http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/3246/index.html>>.

Acesso em 13 out. 2007.

RFC 3260. New terminology and clarifications for Diffserv. Internet Engineering Task

Force. GROSSMAN, D. Apr. 2002. Disponível em: <<http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/3260/index.html>>. Acesso em 13 out. 2007.

RFC 3261. SIP: Session Initiation Protocol. Internet Engineering Task Force. ROSENBERG, J. et al. Jun. 2002. Disponível em: <<http://rfc-ref.org/RFC-TEXTS/3261/index.html>>. Acesso em 24 out. 2007

SALAH, K.; ALKHORAILY, A. An OPNET based simulation approach for deploying VoIP. **International Journal of Network Management**, v. 16, p.159-183, 2006.

STALLINGS, W. **Redes e Sistemas de Comunicação de Dados: Teoria e Aplicações Corporativas**. Trad. 5ª ed. Rio de Janeiro: Campos, 2005, 460p.

SEMERIA, C.; STEWART III, J. W. **Supporting Differentiated Service Classes in Large IP Networks**. Dec. 2001. Disponível em: <http://www.juniper.net/solutions/literature/white_papers/200019.pdf>. Acessado em: 17 out 2007.

SOLINGEN, R.; BERGHOUT, E. **The Goal/Question/Metric method**: a practical guide for quality improvement of software development. London: McGraw-Hill. 1999.199p.

SUN L.; IFEACHOR E. C. Voice Quality Prediction Models and Their Application in VoIP Networks. **IEEE Transactions On Multimedia**, v. 8, n. 4, p. 809-820, Aug. 2006.

TANEMBAUM, S. **Computer Networks**. 4ª ed. Upper Saddle River, NJ, EUA: Prentice Hall. 2003. 950p.

TAKAHASHI, A.; YOSHINO, H. Perceptual QoS assesment technologies for VoIP. **IEEE Communications Magazine**. P. 28 – 34, Jul. 2004.

VEGESNA, S. **IP Quality of Service**. 1ª ed. Indianapolis, IN, EUA: Cisco Press. 2001,

343p.

YANG, S.; CHOU, H. Adaptative QoS parameters approach to modeling Internet performance. **International Journal of Network Management**, v. 13, p. 69-82, 2003.

APÊNDICE

A - ATRASO DE PROPAGAÇÃO

```
# Source hostname,Source IP address, Destination hostname,Destination IP address,Min RT
latency (msecs),Max RT latency (msecs),Average RT latency (msecs),95th RT percentile latency
(msecs),Min src->dest packet loss (%),Max src->dest packet loss (%),Average src->dest packet
loss (%),95th percentile src->dest packet loss (%),Min src->dest jitter (msecs),Max src->dest jitter
(msecs),Average src->dest jitter (msecs),95th percentile src->dest jitter (msecs)
BNUT3300,,BNUT3301B,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BNUT3300,,FNSCE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BNUT3300,,FNSSES-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BNUT3301B,,BNUT3300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BNUT3301B,,FNSCE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BNUT3301B,,FNSSES-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE306,,BSACE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE306,,BSACE-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE306,,BSACO300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-BORDER,,BSACE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-BORDER,,BSACE-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,BSACE306,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,BSACE-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,BSACE-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,BSACO300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,BSACO-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,CBACE300,,0.016,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,CBACE301,,0.016,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,CPECE300,,0.024,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,CPECE301,,0.024,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,CTAJE-CORE01,,0.032,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,CTAME-CORE01,,0.028,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,FNSCE-CORE01,,0.048,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,FNSSES-CORE01,,0.048,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,GNACE303,,0.004,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,GNACE304,,0.004,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,PAEMT-CORE01,,0.048,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE01,,PAEMT-CORE02,,0.048,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE02,,BSACE306,,0.001,,,,,,,,,,,,,
BSACE-CORE02,,BSACE-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
```

BSACE-CORE02,,BSACE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,BSACO300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,BSACO-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,CBACE300,,0.020,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,CBACE301,,0.020,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,CPECE300,,0.028,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,CPECE301,,0.024,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,CTAJE-CORE01,,0.028,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,CTAME-CORE01,,0.028,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,FNSCE-CORE01,,0.060,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,FNSSES-CORE01,,0.036,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,GNACE303,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,GNACE304,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,PAEMT-CORE01,,0.052,,,,,,,,,,,,,
 BSACE-CORE02,,PAEMT-CORE02,,0.044,,,,,,,,,,,,,
 BSACO300,,BSACE306,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACO300,,BSACE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACO300,,BSACE-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACO-BORDER,,BSACE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 BSACO-BORDER,,BSACE-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CBACE300,,BSACE-CORE01,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 CBACE300,,BSACE-CORE02,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 CBACE300,,CBACE301,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CBACE301,,BSACE-CORE01,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 CBACE301,,BSACE-CORE02,,0.020,,,,,,,,,,,,,
 CBACE301,,CBACE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CPECE300,,BSACE-CORE01,,0.024,,,,,,,,,,,,,
 CPECE300,,BSACE-CORE02,,0.024,,,,,,,,,,,,,
 CPECE300,,CPECE301,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CPECE301,,BSACE-CORE01,,0.024,,,,,,,,,,,,,
 CPECE301,,BSACE-CORE02,,0.024,,,,,,,,,,,,,
 CPECE301,,CPECE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE300,,CTAJE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE300,,CTAME303,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE300,,CTAME-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE300,,LDAJC300,,0.004,,,,,,,,,,,,,

CTAJE300,,LDAJC301,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-BORDER,,CTAJE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-BORDER,,CTAME-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,BSACE-CORE01,,0.028,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,BSACE-CORE02,,0.032,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,CTAJE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,CTAJE-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,CTAME303,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,CTAME-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,CTAME-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,FNSCE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,FNSSES-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,MGANM300B,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,MGANM301B,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,PAEMT-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 CTAJE-CORE01,,PAEMT-CORE02,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 CTAME303,,CTAJE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME303,,CTAJE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME303,,CTAME-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME303,,LDAJC300,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 CTAME303,,LDAJC301,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-BORDER,,CTAJE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-BORDER,,CTAME-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,BSACE-CORE01,,0.028,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,BSACE-CORE02,,0.028,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,CTAJE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,CTAJE-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,CTAJE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,CTAME303,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,CTAME-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,FNSCE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,FNSSES-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,MGANM300B,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,MGANM301B,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,PAEMT-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 CTAME-CORE01,,PAEMT-CORE02,,0.012,,,,,,,,,,,,,

FNSCE300,,FNSCE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE300,,FNSES300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE300,,FNSES-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,BNUT3300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,BNUT3301B,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,BSACE-CORE01,,0.048,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,BSACE-CORE02,,0.048,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,CTAJE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,CTAME-CORE01,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,FNSCE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,FNSES300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,FNSES-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,PAEMT-CORE01,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 FNSCE-CORE01,,PAEMT-CORE02,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 FNSES300,,FNSCE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES300,,FNSCE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES300,,FNSES-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,BNUT3300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,BNUT3301B,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,BSACE-CORE01,,0.040,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,BSACE-CORE02,,0.036,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,CTAJE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,CTAME-CORE01,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,FNSCE300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,FNSCE-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,FNSES300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,PAEMT-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 FNSES-CORE01,,PAEMT-CORE02,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 GNACE303,,BSACE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 GNACE303,,BSACE-CORE02,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 GNACE303,,GNACE304,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 GNACE304,,BSACE-CORE01,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 GNACE304,,BSACE-,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 GNACE304,,GNACE303,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 LDAJC300,,CTAJE300,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 LDAJC300,,CTAME303,,0.012,,,,,,,,,,,,,

LDAJC300,,LDAJC301,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 LDAJC301,,CTAJE300,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 LDAJC301,,CTAME303,,0.004,,,,,,,,,,,,,
 LDAJC301,,LDAJC300,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 MGANM300B,,CTAJE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 MGANM300B,,CTAME-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 MGANM300B,,MGANM301B,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 MGANM301B,,CTAJE-CORE01,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 MGANM301B,,CTAME-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 MGANM301B,,MGANM300B,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEBV302,,PAEMT-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEBV302,,PAEMT-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEBV-BORDER,,PAEMT-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEBV-BORDER,,PAEMT-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT302,,PAEMT-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT302,,PAEMT-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-BORDER,,PAEMT-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-BORDER,,PAEMT-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,BSACE-CORE01,,0.048,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,BSACE-CORE02,,0.052,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,CTAJE-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,CTAME-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,FNSCE-CORE01,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,FNSES-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,PAEBV302,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,PAEBV-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,PAEMT302,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,PAEMT-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE01,,PAEMT-CORE02,,0.001,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,BSACE-CORE01,,0.040,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,BSACE-CORE02,,0.040,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,CTAJE-CORE01,,0.012,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,CTAME-CORE01,,0.016,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,FNSCE-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,FNSES-CORE01,,0.008,,,,,,,,,,,,,
 PAEMT-CORE02,,PAEBV302,,0.001,,,,,,,,,,,,,

PAEMT-CORE02,,PAEBV-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
PAEMT-CORE02,,PAEMT302,,0.001,,,,,,,,,,,,,
PAEMT-CORE02,,PAEMT-BORDER,,0.001,,,,,,,,,,,,,
PAEMT-CORE02,,PAEMT-CORE01,,0.001,,,,,,,,,,,,,