

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEEVALE

SERGIO STRIEDER

IMPLEMENTAÇÃO DE CENTRAL TELEFÔNICA VOIP

Novo Hamburgo, dezembro de 2007.

SERGIO STRIEDER

IMPLEMENTAÇÃO DE CENTRAL TELEFÔNICA VOIP

Centro Universitário Feevale
Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas
Curso de Ciência da Computação
Trabalho de Conclusão de Curso

Professor Orientador: Vandersilvio da Silva

Novo Hamburgo, dezembro de 2007.

RESUMO

O crescimento das redes IP, as técnicas avançadas de digitalização da voz humana e os mecanismos que permitem a qualidade de serviços nas redes IP, agregados a circuitos de alta velocidade, permitiram a consolidação da telefonia IP. A telefonia IP está em franco crescimento, pois além de reduzir os custos das ligações telefônicas, permite a convergência entre as redes de dados e voz, criando uma infra-estrutura única, facilitando os processos de instalação, manutenção e gerenciamento dessa infra-estrutura. Um dos principais recursos da telefonia IP é a utilização da tecnologia VoIP. Este trabalho tem o objetivo de estudar e apresentar a implementação de centrais telefônicas VoIP de baixo custo como uma solução que permita substituir ou agregar recursos as centrais telefônicas que utilizam *hardware* proprietário. A central telefônica VoIP baseada no *software* livre Asterisk possibilita a interligação de localidades geograficamente distantes uma das outras através das redes IP, sem a necessidade de se pagar os altos valores cobrados pelos fabricantes de centrais telefônicas de *hardware* proprietário pela manutenção e fornecimento de equipamentos e licenças, mas garantindo a obtenção dos mesmos resultados, como por exemplo, que todas as unidades de uma empresa realizem chamadas telefônicas entre si sem precisar pagar as taxas cobradas pelas operadoras da rede telefônica pública comutada. Através da pesquisa bibliográfica sobre a tecnologia VoIP e métodos para avaliação da qualidade de voz, incluindo um estudo sobre o *software* Asterisk, é realizado o levantamento da estrutura de uma empresa que não utiliza a tecnologia VoIP e proposta uma maneira de se implantar essa tecnologia através da implementação de centrais telefônicas VoIP. A verificação dessa implementação ocorre através da aplicação de testes de avaliação da qualidade de voz e da avaliação das funcionalidades implementadas em um ambiente desenvolvido.

Palavras-chave: VoIP. Telefonia IP. Central telefônica IP. Asterisk.

ABSTRACT

The IP Network's growth, the human's voice advanced digitalization techniques and the mechanisms which allows the quality of services on the IP Networks, added to high speed circuits allows the consolidation of the IP Telephony. The IP Telephony is in a massive grow up, because besides reducing the costs in our phone calls, allows the convergence between the data and voice networks, creating a standalone infrastructure, making easy the steps of installation, maintenance and management on this infrastructure. One of the top resources on the IP Telephony is the utilization of the VoIP Technology. This work has the objective of studying and presents the implementation of low costs VoIP Phone Exchanges, with a solution that allows us to change or add resources to the Phone Exchanges which uses propriotor hardware. The VoIP Phone Exchange based on Asterisk Free Software, turns possible the interconnection of remote places, using IP Networks, without needing to pay the high prices charged by the manufacturers of propriotor hardware Phone Exchanges, for the maintenance and supply of equipments and licenses, with the guarantee of the same results, taking as example that all the units of a company makes Phone Calls among each other, without paying taxes charged by the Commuted Public Phone Companies. Across a bibliographic research about VoIP Technology and measuring methods for voice quality - including a study about the Asterisk Software - a structure survey in a company that doesn't uses the VoIP Technology is done, and proposed a way to implant this technology with the implementation of VoIP Phone Exchanges. The verification of this implementation occurs with the application of voice quality evaluation tests and from the evaluation of the implemented functionalities in a developed structure.

Keywords: VoIP. IP Telephony. IP Phone Exchanges. Asterisk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Rede de Telefonia Pública Comutada	23
Figura 2.2 – Exemplo de conexão entre PABX e RTPC	24
Figura 2.3 – Exemplo de aplicação de PABX digital	24
Figura 3.1 – Tela do software Skype	27
Figura 3.2 – Comunicação de voz de terminal IP para terminal IP	28
Figura 3.3 – Comunicação de voz de terminal IP para telefone.....	29
Figura 3.4 – Comunicação de voz de telefone para telefone usando redes IP	29
Figura 4.1 – Formato do pacote RTP.....	35
Figura 4.2 – Componentes de um sistema H.323	39
Figura 4.3 - Pilha de protocolos H.323	41
Figura 4.4 – Estabelecimento de chamada H.323.....	42
Figura 4.5 – Fluxo de sinalização de controle H.323	44
Figura 4.6 – Fluxo de pacotes de áudio e fluxos de controle RTCP.....	44
Figura 4.7 – Desconexão da chamada H.323	45
Figura 4.8 – Formato da mensagem SIP	48
Figura 4.9 – Exemplo de fluxo de sinalização em comunicação peer-to-peer.....	50
Figura 5.1 - Filosofia básica usada no PESQ.	58
Figura 6.1 – Arquitetura básica do Asterisk.....	63
Figura 8.1 – Estrutura básica da rede de dados de Ivoti – RS.....	74
Figura 8.2 - Estrutura básica da rede de dados de São Paulo – SP.....	77
Figura 8.3 - Estrutura básica da rede de dados de Santo Estevão – BA	79
Figura 8.4 - Estrutura básica da rede de dados de Vitória da Conquista – BA	82
Figura 8.5 – Estrutura básica da rede de dados de Itapipoca – CE.....	84
Figura 8.6 – Estrutura proposta para Ivoti-RS.....	90
Figura 8.7 – Estrutura proposta para São Paulo-SP.....	91

Figura 8.8 – Estrutura proposta para as unidades do Nordeste	93
Figura 9.1 – Topologia de rede utilizada no ambiente de testes.....	98
Figura 9.2 – Configuração do X-lite no Cliente A	108
Figura 11.1 – Comparativo entre as médias do escore PESQ	116

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Codecs para voz.....	33
Tabela 4.1 – Métodos de requisição e respectivas funcionalidades no SIP/2.0.	47
Tabela 4.2 – Métodos de requisições estendidos e respectivas funcionalidades.	48
Tabela 4.3 – Classes de resposta e respectivas funcionalidades no SIP/2.0.	48
Tabela 5.1 – Pontuação da qualidade MOS	54
Tabela 6.1 – Orientações sobre requisitos do sistema	69
Tabela 8.1 – Comparação da estrutura de telefonia das localidades	87
Tabela 8.2 – Novo plano de numeração.....	88
Tabela 11.1 – Escore PESQ obtido por período e codec nas chamadas VoIP internas.....	114
Tabela 11.2 – Escore PESQ obtido por período e codec nas chamadas de interligação	115
Tabela 11.3 – Escore PESQ obtido por período e codec nas chamadas com provedor VoIP	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACF	Admission Confirmation
ACELP	Algebraic Code Excited Linear Prediction
ACR	Absolute Category Rating
ADPCM	Adaptative Differencial Pulse Code Modulation
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AF	Assured Forwarding
API	Application Programming Interface
ARQ	Admissions Request
ATA	Analog Telephone Adapter
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BA	Bahia
BIOS	Basic Input/Output System
CC	CSRC Counter
CDR	Call Detail Records
CE	Ceará
CELP	Codebook Excited Linear Prediction
CEPT	Conferência Europeia Postal de Telecomunicação
CNAME	Canonical Name
CODEC	Codificador/Decodificador
CPA	Central de Programa Armazenado
CPCT	Central Privada de Comutação Telefônica
CS-ACELP	Conjugate Structure Algebraic Codebook Excited Linear Prediction
CSRC	Contributing Source
DAC	Distribuição Avançada de Chamadas
DCF	Disengage Confirmation

DDD	Discagem Direta a Distância
DDI	Discagem Direta Internacional
DDR	Discagem Direta a Ramal
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DIFFSERV	Differentiated Service
DRQ	Disengage Request
DS	Differentiated Service
DSL	Digital Subscriber Line
DSP	Digital Signal Processor
DUNDI	Distributed Universal Number Discovery
EF	Expedited Forwarding
FXO	Foreign eXchange Office
FXS	Foreign eXchange Station
GK	Gatekeeper
GPL	General Public License
HTTP	HyperText Transfer Protocol
IAX	Inter-Asterisk eXchange
IETF	Internet Engineering Task Force
INTSERV	Integrated Service
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
ITU-T	ITU Telecom Standardization Sector
IVR	Interactive Voice Response
IWF	Interworking Function
LAN	Local Area Network
LD-CELP	Low Delay - Code Excited Linear Prediction
LPC	Linear Predictive Coding
MC	Multipoint Controller
MCU	Multipoint Control Unit
MEGACO	Media Gateway Control
MGCP	Media Gateway Control Protocol
MOS	Mean Opinion Score

MP-MLQ	Multipulse Maximum Likelihood Quantization
MP3	MPEG Audio Layer-3
MPS	Multipoint Processors
OSI	Open Systems Interconnection
P2P	Peer-To-Peer
PABX	Private Automatic Branch Exchange
PAM	Pulse Amplitude Modulation
PAMS	Perceptual Analysis Measurement System
PC	Personal Computer
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCM	Pulse Code Modulation
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PRI	Primary Rate Interface
PSDN	Public Switched Data Network
PSQM	Perceptual Speech Quality Measure
QOS	Quality of Service
RAS	Register, Admission and Status
RDSI	Rede Digital de Serviços Integrados
RDSI-FL	Rede Digital de Serviços Integrados – Faixa Larga
RR	Receiver Report
RS	Rio Grande do Sul
RTCC	Rede Telefônica Comutada por Circuito
RTP	Real-Time Transport Protocol
RTCP	RTP Control Protocol
RTPC	Rede Telefônica Pública Comutada
SB-ADPCM	Sub Band Adaptative Differencial Pulse Code Modulation
SBC	Sub-Band Coding
SCCP	Skinny Client Control Protocol
SDES	Source Description
SDP	Session Description Protocol
SHDSL	Symmetric High-Speed Digital Subscriber Line
SIP	Session Initiation Protocol
SOHO	Small Office/Home Office

SP	São Paulo
SR	Sender Report
SSRC	Synchronization Source
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transmission Control Protocol over Internet Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagram Protocol
UDP/IP	User Datagram Protocol over Internet Protocol
UNISTIM	Unified Networks IP Stimulus
URA	Unidade de Resposta Audível
URI	Universal Resource Identifier
USB	Universal Serial Bus
VOIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
XR	Extended Reports
WAN	Wide Area Network
WIFI	Wireless Fidelity

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA TELEFÔNICO	19
2 CENTRAIS PRIVADAS DE TELEFONIA.....	23
3 VOIP.....	26
3.1 Evolução	26
3.2 Cenários de utilização da tecnologia VoIP	28
3.3 Vantagens na Utilização de VoIP	29
3.4 Codificação de Sinais de Voz	30
3.5 Codecs	32
4 PROTOCOLOS VOIP	34
4.1 RTP/RTCP	34
4.2 H.323	37
4.2.1 Componentes da Arquitetura H.323	38
4.2.2 Pilha de Protocolos H.323	39
4.2.3 Estabelecimento de Chamadas H.323	41
4.3 SIP - Session Initiation Protocol	45
4.3.1 Componentes da Arquitetura SIP	46
4.3.2 Mensagens SIP	47
4.3.3 SDP – Session Description Protocol.....	49
4.3.4 Estabelecimento de Chamadas SIP	50
4.4 Interoperabilidade de SIP e H.323	51
5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VOZ.....	53
5.1 MOS - Mean Opinion Score	53
5.2 PSQM - Perceptual Speech Quality Measure	54
5.3 PAMS – Perceptual Analysis Measurement System.....	55
5.4 PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality	56
6 CENTRAL TELEFONICA ASTERISK.....	60
6.1 Vantagens	61
6.2 Arquitetura.....	62
6.3 Codecs	64
6.4 Protocolos	64
6.4.1 IAX	64
6.4.2 MGCP	64
6.4.3 Skinny/SCCP	65

6.4.4 UNINSTIM.....	65
6.5 Principais Funcionalidades	65
6.5.1 Ligações ponto-a-ponto.....	65
6.5.2 Truncamento de Linhas.....	66
6.5.3 Funcionalidades de Telecom	66
6.5.4 Distribuição Avançada de Chamadas (DAC).....	66
6.5.5 Registro de Detalhes de Ligação – CDR (Call Detail Records).....	67
6.5.6 Gravação de Chamadas	67
6.5.7 Unidade de Resposta Audível – URA.....	67
6.5.8 Correio de Voz.....	67
6.5.9 Discador Automático	68
6.5.10 Sala de Conferência	68
6.6 Requisitos de Hardware.....	68
6.7 Requisitos de Software	69
6.7.1 Distribuição Linux	69
6.7.2 Pacotes Necessários	70
7 TRABALHOS CORRELATOS	71
8 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE CENTRAL TELEFONICA VOIP	73
8.1 Levantamento da Estrutura e das Necessidades.....	73
8.1.1 Ivoti – RS	73
8.1.2 São Paulo – SP.....	76
8.1.3 Santo Estevão - BA.....	79
8.1.4 Vitória da Conquista - BA.....	82
8.1.5 Itapipoca – CE	84
8.2 Proposta de Implementação	87
8.2.1 Nova Estrutura.....	88
9 IMPLEMENTAÇÃO DE UM AMBIENTE DE TESTES	95
9.1 Hardware e Software utilizados	95
9.2 Preparação do ambiente.....	97
9.3 Instalação da central telefônica VoIP.....	98
9.4 Configuração do ambiente	98
9.4.1 Configuração dos ramais SIP nas centrais VoIP	99
9.4.2 Configuração da interligação dos dois servidores VoIP	100
9.4.3 Configuração da integração entre a central telefônica VoIP e a central telefônica convencional.....	102
9.4.4 Configuração das linhas com provedor VoIP.....	103
9.4.5 Configuração da funcionalidade de transferência de chamadas	103
9.4.6 Configuração da funcionalidade de música em espera	104
9.4.7 Configuração da funcionalidade de URA	105
9.4.8 Configuração da funcionalidade de fila de espera e sinalização simultânea de chamadas	106
9.4.9 Configuração da funcionalidade de correio de voz	107
9.4.10 Configuração da funcionalidade de sala de conferência	107
9.4.11 Configuração do softphone X-lite.....	108
10 METODOLOGIA	110
11 RESULTADOS OBTIDOS	114
11.1 Resultados obtidos nos testes.....	114
11.2 Avaliação dos Resultados.....	117

CONCLUSÃO.....	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

INTRODUÇÃO

O modelo de negócio aplicado pelas operadoras de telefonia convencional gera um alto custo para empresas que realizam um grande volume de ligações telefônicas do tipo DDD (Discagem Direta a Distância) e DDI (Discagem Direta Internacional), pois estas ligações estão sujeitas à tarifas que normalmente são calculadas em função da distância e do horário em que são realizadas. Algumas dificuldades em oferecer funcionalidades mais sofisticadas e inteligentes também estão presentes na telefonia convencional.

A telefonia IP está em franco crescimento, e vem ao encontro dessas necessidades, pois além de reduzir os custos das ligações telefônicas, possibilita a convergência entre as redes de voz e de dados, criando uma infra-estrutura única, o que permite uma maior facilidade de instalação, manutenção e gerenciamento. Alguns novos recursos como videoconferência e unificação dos sistemas de mensagens também são oferecidos.

Os termos VoIP e Telefonia IP são muitas vezes confundidos. Para Colcher et al (2005, p. 9), a Telefonia IP é também freqüentemente mencionada como a extensão do serviço de comunicação vocálica propiciada por tecnologias de VoIP até o equipamento do usuário final e sua conseqüente possibilidade de integração com outros serviços típicos da Internet, como Web, correio eletrônico e outros. Sob esse prisma, a telefonia IP é vista não só como capaz de estabelecer chamadas telefônicas e outras facilidades típicas de sistemas telefônicos convencionais – redirecionamento e retenção de chamadas, por exemplo -, mas também como uma plataforma de integração de serviços.

A telefonia IP utiliza a tecnologia VoIP, essa por sua vez possui diversos protocolos, onde os mais comuns são o H.323 e o SIP (*Session Initiation Protocol*). O protocolo H.323 ainda é muito usado em voz sobre IP, especialmente na conectividade com projetos mais antigos utilizando roteadores Cisco ou *gateway* de voz. É um padrão para fornecedores de

PABX e roteadores, mas está sendo substituído pelo SIP, que é um protocolo aberto descrito pela IETF (*Internet Engineering Task Force*) e que está sendo largamente implementado pelas operadoras VoIP, sendo considerado um protocolo padrão de fato para a telefonia IP.

Um estudo realizado pela *Infonetics Research* com 240 empresas aponta que o uso de sistemas de voz sobre IP é impulsionado principalmente pelas grandes empresas, onde 36% já utilizam. Nas médias empresas o índice cai para 23% e para 14% nas pequenas empresas. Porém, a expectativa é que o percentual de pequenas empresas usuárias de VoIP triplique até 2010 (GREENE, 2006).

Segundo Buonacorso (2006), a grande maioria das empresas que implantam a tecnologia de Voz sobre IP alcança a principal vantagem que é a redução com o custo de telefonia, muitas vezes chegando até em 70%. Porém, ainda existe uma resistência dos usuários que temem pelo novo, e das operadoras de telefonia que temem pela abertura a perda de mercado para este concorrente.

Na hora de decidir pela implantação da telefonia IP, as empresas podem optar por um sistema híbrido ou totalmente IP. O equipamento híbrido ainda tem uma parte proprietária, formada por circuitos e *hardware* dedicados à voz (TDM). Já os sistemas totalmente IP são baseados num *software* chamado *softswitch*, que roda em computadores comuns. (INFOCORPORATE, 2006, p. 62).

Este trabalho aborda a implantação da tecnologia VoIP em uma empresa através da implementação da central telefônica VoIP, onde é apresentado um cenário com a atual estrutura de telefonia de uma empresa e de suas filiais, bem como a forma que elas se comunicam interna e externamente. Posteriormente é proposto um novo cenário com a utilização da tecnologia VoIP e desenvolvido um ambiente para a realização de diversos testes.

Para a implementação da central telefônica VoIP será utilizado o *software* Asterisk, pois não envolve custos de licenciamento para o seu uso, já que utiliza o conceito de *software* livre, e também pelo grande número de recursos que dispõem, além de possuir uma ampla documentação disponível na Internet e em obras impressas, permitindo uma pesquisa mais profunda.

O Asterisk é um PABX criado pela Digium Inc., que possui um grande número de usuários em todo o mundo e que está em constante crescimento. A Digium Inc. investe tanto no desenvolvimento do *software* Asterisk, quando em *hardware* de telefonia de baixo custo que funciona com ele. O sistema roda em plataforma Linux e em outras plataformas Unix, com ou sem *hardware* conectado a rede pública de telefonia.

O primeiro capítulo do trabalho descreve a evolução do sistema telefônico, iniciando nos primeiros experimentos realizados por Alexander Graham Bell e seu ajudante Thomas A. Watson, que posteriormente culminaram no desenvolvimento do primeiro aparelho telefônico, até o momento em que teve início a convergência das redes de transmissão de voz e as redes de transmissão de dados.

O segundo capítulo do trabalho faz uma breve abordagem sobre as centrais privadas de telefonia, descrevendo alguns dos benefícios obtidos com a sua utilização, as formas de ligação com a rede de telefonia pública comutada, entre outros.

O terceiro capítulo do trabalho faz uma abordagem sobre a tecnologia VoIP, mostrando a sua evolução, alguns cenários para a sua utilização, as vantagens e as técnicas de codificação e decodificação de sinais de voz.

O quarto capítulo do trabalho descreve tecnicamente os principais protocolos utilizados em VoIP, incluindo os protocolos de sinalização H.323 e SIP e os protocolos de transporte e controle na transmissão de fluxo de dados RTP/RTCP.

O quinto capítulo do trabalho aborda os principais métodos para avaliação da qualidade de voz, descrevendo as principais características dos métodos MOS, PSQM, PAMS e PESQ.

O sexto capítulo descreve as principais características do *software* Asterisk, incluindo as vantagens na sua utilização, a arquitetura, os protocolos e codecs que suporta, algumas de suas funcionalidades e os requisitos de *hardware* e *software* necessários para a sua utilização.

O sétimo capítulo apresenta alguns trabalhos encontrados, com assuntos relacionados a este trabalho de conclusão, e que de alguma forma contribuíram como fonte de pesquisa e consulta.

O oitavo capítulo do trabalho aborda a implementação de central telefônica VoIP em um ambiente corporativo, apresentando o levantamento da estrutura das redes de dados e voz de todas as unidades de uma empresa, e as necessidades não suportadas por esta estrutura. Posteriormente é proposta uma nova estrutura, incluindo a implantação da tecnologia VoIP através da implementação de centrais telefônicas VoIP.

O nono capítulo descreve a implementação de um ambiente de testes, desenvolvido para permitir a avaliação do funcionamento das centrais telefônicas VoIP e de suas funcionalidades.

O décimo capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização dos testes e para a obtenção dos resultados, sendo que a análise desses resultados está presente no décimo primeiro e último capítulo deste trabalho.

1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA TELEFÔNICO

No ano de 1875, durante um experimento relacionado a um projeto de sistema de telegrafia, o cientista Alexander Graham Bell e seu ajudante Thomas A. Watson perceberam que o aparato no qual trabalhavam transmitiu um som completamente diferente ao que era esperado. Até então o projeto não tinha nenhum propósito relacionado ao telefone, mas analisando o resultado obtido, Bell percebeu que da forma que parte do equipamento de recepção havia sido montada naquela ocasião, ele conseguira produzir uma corrente elétrica cuja variação acontecia na mesma intensidade que o ar variava de densidade junto ao transmissor.

Através dessa descoberta e de vários refinamentos, em 14 de fevereiro de 1876, Bell submeteu sua patente do telefone descrevendo o aparato como “... o aparelho para transmitir voz e outros sons (...) pelas variações da corrente elétrica, similares às variações do ar, acompanhando cada palavra pronunciada...”. Em 1877, Graham Bell fundaria a primeira companhia Bell de telefonia (COLCHER et al, 2005, p. 2).

Posteriormente, como a necessidade de comunicação da sociedade era muito mais ampla, a utilização da invenção inicial de Bell com linhas diretas e dedicadas entre os usuários já não era mais possível. Para resolver esse problema foi desenvolvido um sistema que permitia a utilização de recursos compartilhados chaveados (ou comutados) entre as diversas conversações, dando origem às primeiras centrais telefônicas e ao termo Rede Telefônica Pública Comutada (RTPC), utilizado até hoje para se referir ao sistema telefônico público em geral.

Para Colcher et al (2005, p. 3), nos

[...] primeiros sistemas telefônicos, o circuito estabelecido entre os interlocutores era feito por uma técnica conhecida como chaveamento físico manual, na qual operadores humanos, nas centrais telefônicas, recebiam pedidos de ligação

(conexão) e eram encarregados de fechar fisicamente (através de cabos e conectores) os circuitos entre o chamador e o chamado, bem como liberar esse circuito após o término da conversação.

Em 1891, Almon B. Strowger desenvolveu e patenteou uma chave seletora automática, que por movimentação de escovas na direção vertical e rotação, fazia a comutação para 100 posições em um banco de contatos em uma superfície cilíndrica. Esse invento foi o ponto de partida para a automatização das centrais comutadoras que se iniciou com as centrais urbanas, posteriormente com as interurbanas e internacionais.

O uso de comutação automática impôs exigências ao aparelho telefônico. Na comutação manual, o usuário informava o número desejado à telefonista. Com a automação foi necessário desenvolver recursos para “informar” a central qual o número desejado. Em 1896, o disco foi incorporado ao telefone com esta finalidade (FERRARI, 2005, p. 34).

A rede de telefônica permaneceu totalmente baseada na tecnologia analógica até a década de 1950, quando em março de 1958 surgiram as primeiras centrais digitais nos laboratórios da Bell.

A convergência entre os sistemas telefônicos e os sistemas computacionais teve início na década de 1950, com a introdução das primeiras centrais telefônicas baseadas em sistemas computacionais, conhecidas como Central de Programa Armazenado (CPA). Diversos benefícios foram obtidos em termos de operação, manutenção e provisão dos serviços de telefonia.

Em 1960, no mesmo momento em que as centrais digitais eram introduzidas no sistema telefônico, os primeiros circuitos para a transmissão de sinais digitais nas linhas entre as centrais começaram a ser introduzidos na rede telefônica. Na década de 1980, o sistema começou a se tornar predominantemente digital, exceto pelas linhas dos assinantes.

Segundo Colcher et al (2005, p. 3), a partir da introdução das CPAs, a

[...] configuração dos equipamentos se tornou, em geral, mais flexível, permitindo a operadores manipular facilmente parâmetros que alteram o funcionamento do equipamento por meio de ferramentas de software. Novas formas mais eficazes de gerenciamento e ferramentas para auxiliar nas tarefas corriqueiras de operação também se tornaram possíveis. Computadores localizados em centros de gerência e operação da rede telefônica passaram a poder receber informações e processá-las com os mais diversos propósitos, desde a emissão das cobranças aos usuários, até a geração de relatórios periódicos sobre o funcionamento e o desempenho geral do sistema. Arquiteturas de gerência surgiram para permitir a operação e o gerenciamento remoto da rede telefônica.

A partir da década de 1980, o sistema telefônico agregou novos serviços tais como, secretária eletrônica, identificador de chamadas entre outros, que permitiram maior conforto e maiores possibilidades de negócios para as operadoras de telecomunicações.

Em 1984 surgiu a RDSI (Rede Digital de Serviços Integrados), em inglês, ISDN (*Integrated Services Digital Network*). Essa tecnologia foi criada com a finalidade de se implementar serviços de voz, multimídia, telefonia de alta qualidade, transmissão de dados, entre outros, numa única infra-estrutura de rede. Mas para suprir a crescente demanda por largura de banda surgiu a RDSI-FL (RDSI Faixa Larga), para transmissão de voz, vídeo e dados.

Em 1988, a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) foi escolhida pela ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecom Standardization*) como o padrão técnico destinado a possibilitar a implementação da RDSI-FL. Com a extensão da aplicação de ATM à transmissão de dados, surgiu naturalmente a possibilidade de integração de todas as tecnologias de comunicações, compreendendo voz, vídeo e dados. Por outro lado, com a difusão do protocolo TCP/IP no contexto da Internet, teve início um movimento visando o transporte de voz sobre IP.

Para atender aos requisitos de banda larga dos novos serviços digitais, surgiu a tecnologia *Digital Subscriber Line*, conhecido pela sigla (DSL). Existem algumas variações. A mais popular é a ADSL, que é a DSL assimétrica, com velocidades diferentes de recepção (*downstream*) e transmissão (*upstream*). Basicamente, o usuário transmite comandos e recebe os dados, por isso a velocidade de recepção chega a 6Mbps e a transmissão não passa de 840Kbps. Um aspecto importante dessa tecnologia é que a linha física é utilizada simultaneamente pelo telefone comum e pelo modem ADSL através de um filtro. Outra tecnologia bastante usada é a G-SHDSL com velocidade simétrica, pequeno retardo (*delay*) de modulação e alcança até 3,5Km em linhas de boa qualidade. Novas técnicas estão sendo utilizadas para estabelecer novos padrões. Entre elas destacam-se a ADSL2++ que consegue alcançar as velocidades de até 25Mbps de *downstream* e 6Mbps de *upstream*, com um alcance de até 4km, e também a *Reach DSL (Extended)*, que consegue alcançar a distância de até 10km à velocidade de 2Mbps simétricas. (Tecnologia XDSL, 2003). É importante lembrar que, para atingir essa performance, a linha precisa ser de boa qualidade e com baixo ruído. (REICHERT, 2004, p. 19).

O processo de digitalização permitiu que ocorresse a convergência entre as redes de transmissão voz e as redes de transmissão dados. Para que a rede de dados consiga transmitir voz é necessário utilizar uma tecnologia conhecida como VoIP (*Voice Over Internet Protocol*), que será mostrada com maiores detalhes no Capítulo 3.

Este capítulo abordou a evolução do sistema telefônico, apresentando desde a descoberta realizada por Graham Bell, até o surgimento da tecnologia VoIP. O próximo

capítulo aborda alguns conceitos sobre centrais privadas de telefônica, também conhecidas como PABX (*Private Automatic Branch Exchange*).

2 CENTRAIS PRIVADAS DE TELEFONIA

A Central Privada de Comutação Telefônica (CPCT), conhecida também pela sigla PABX, é um equipamento que pode ou não estar interligado a uma central da RTPC e são utilizados basicamente por empresas, governos e condomínios (Figura 2.1).

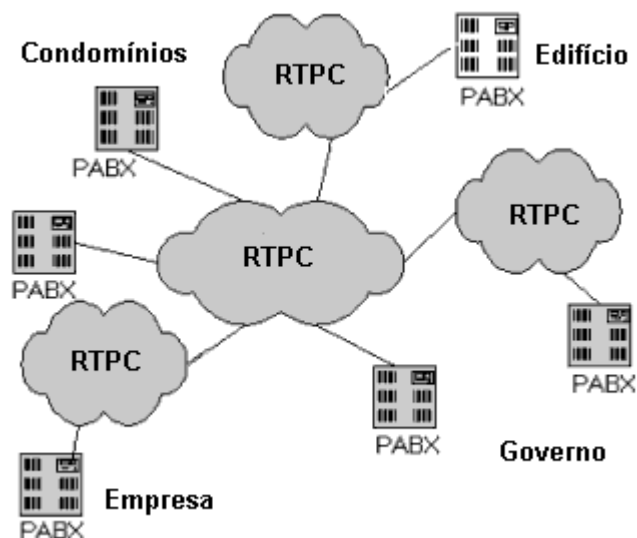


Figura 2.1 – Rede de Telefonia Pública Comutada
Fonte: (PINHEIRO, 2004)

Um PABX se liga à RTPC através de linhas externas (trancos) e possui um número de linhas internas (ramais) sempre em maior quantidade que o número de trancos. A vantagem de se utilizar a central privada é o seu menor custo de operação com relação a utilização da rede pública, por não ocorrer a tarifação das chamadas internas.

Segundo Ferrari (2005, p. 262), um PABX é uma central privada de comunicação telefônica automática, que tem como objetivo interligar ramais, encaminhar chamadas externas para os ramais, dar acesso a rede pública, incorporando funções específicas de sua aplicação aos negócios. Num PABX o tráfego para a rede pública é feito automaticamente, não passando pela telefonista, exceto quando isto não é permitido por normas das empresas.

A Figura 2.2 ilustra um exemplo de conexão entre um PABX e a rede de telefônica pública comutada.

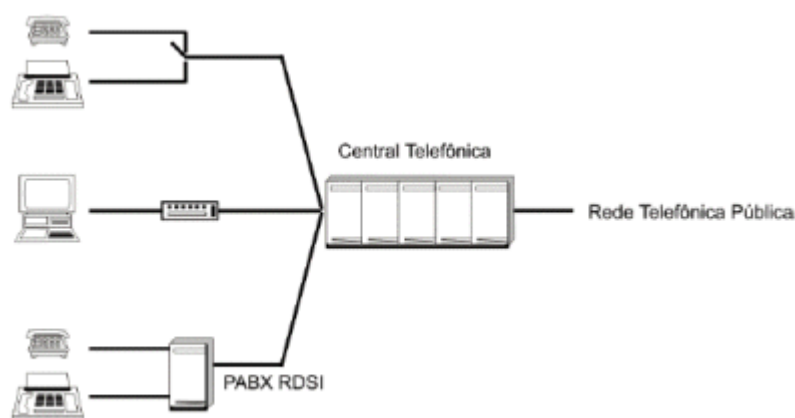


Figura 2.2 – Exemplo de conexão entre PABX e RTPC

Fonte: (PINHEIRO, 2004)

As centrais privadas do tipo PABX podem utilizar tanto a comutação analógica como a digital. Os sinais analógicos de voz são gerados em cada ramal e recebidos pela central onde são quantizados e codificados na forma de informação digital. Nos ramais digitais este processo de digitalização ocorre no próprio terminal do usuário. Após a recepção na central PABX, o sinal digital de cada usuário (canal) é comutado (seleção física de circuito) para uma linha específica, sendo convertido novamente em sinal analógico e encaminhado para a Central Pública, usando-se um par de fios para cada ligação. Um PABX E1, por exemplo, é um equipamento que utiliza linhas digitais, permitindo o tráfego dos serviços de dados e voz com muito mais eficiência e qualidade (PINHEIRO, 2004).

A Figura 2.3 ilustra um exemplo de aplicação de um PABX digital, onde são apresentadas as conexões internas com os ramais e externa com a RTPC.

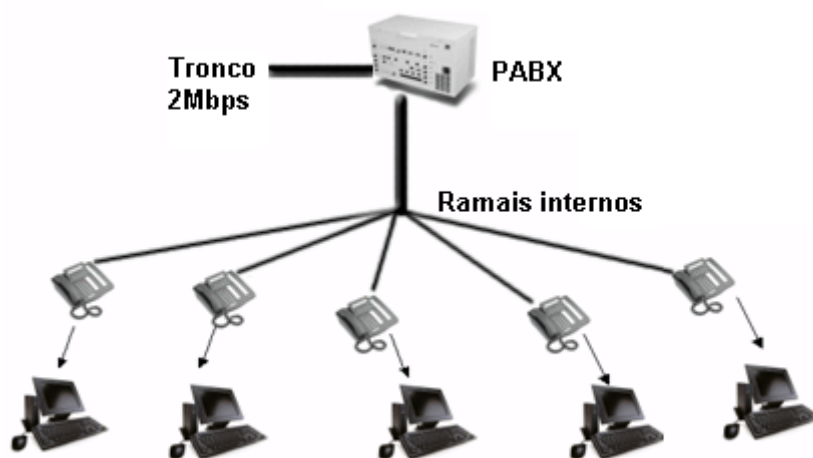


Figura 2.3 – Exemplo de aplicação de PABX digital

Fonte: (PINHEIRO, 2004)

A tecnologia digital vem substituindo gradativamente a tecnologia analógica, graças a vantagens oferecidas, como (PINHEIRO, 2004):

Armazenamento de voz - Convertendo a voz para forma digital, é possível armazená-la em um disco ou na memória do sistema. Isso permite uma grande facilidade e rapidez para correio de voz, entre outros.

Maior capacidade - Com sinais digitais, um único tronco de 2Mbps (E1¹) pode transmitir 30 canais de voz simultaneamente, gerando uma economia de linhas no sistema.

Redução de custo e maior confiabilidade - Com tecnologia digital, o consumo de energia é menor, além da redução do espaço físico necessário. Além disso, os circuitos digitais possuem maior confiabilidade e imunidade a ruídos.

Qualidade do sinal em maiores distâncias - Quando o sinal digital necessita ser amplificado porque sofreu atenuação, o ruído pode ser eliminado, pois há uma regeneração do sinal, já que ele é digital e pode ser totalmente recuperado. Isso elimina o ruído até aquele ponto da transmissão.

Uso do mesmo meio físico para várias informações - Com sinais digitais, é possível transmitir voz, dados, imagens, música, e assim por diante através do mesmo meio físico.

Impossibilidade de cruzamento de sinais - Como a comutação é digital, não existem enlaces físicos e não é possível haver cruzamentos indesejáveis entre ramais e entre troncos no sistema. Assim, esse tipo de preocupação não existe na tecnologia digital.

Este capítulo abordou alguns conceitos sobre centrais privadas de telefonia e as principais vantagens que foram obtidas com a introdução da tecnologia digital nesses sistemas. O próximo capítulo apresenta a tecnologia VoIP, mostrando sua evolução, as principais características e as vantagens obtidas com sua utilização.

¹ Padrão europeu de linha telefônica digital criado pela ITU-T e o nome determinado pela Conferência Européia Postal de Telecomunicação (CEPT), sendo também o padrão utilizado no Brasil.

3 VOIP

A tecnologia VoIP (*Voice over Internet Protocol*) viabiliza a comunicação telefônica utilizando as redes IP como meio de transmissão da voz. Em português também é conhecida por Voz sobre IP. A tecnologia VoIP, basicamente, converte sinal de voz (analógico) através da quebra da conversação em pacotes de dados (formato digital) e os transmite através das redes IP.

Ao contrário das redes telefônicas que tradicionalmente utilizam uma infra-estrutura baseada no conceito de comutação de circuitos, que pressupõe o estabelecimento de um caminho dedicado durante todo o período de comunicação entre dois pontos, a tecnologia VoIP utiliza o conceito de comutação de pacotes, onde não há a necessidade de um caminho previamente estabelecimento e onde os pacotes são individualmente encaminhados entre nós da rede através de ligações de dados tipicamente compartilhadas por outros nós.

3.1 Evolução

A tecnologia de VoIP surgiu em 1995 em Israel, quando um grupo interessado no assunto desenvolveu um sistema que permitia transportar amostras de voz entre computadores pessoais através da troca de pacotes IP. A qualidade do sistema era muito ruim, mas foi considerado o ponto de partida para que outros pesquisadores se interessassem pelo assunto (US PHONE BRASIL, 2005).

Ainda no mesmo ano, uma empresa chamada VocalTec Communications disponibilizou no mercado o *Internet Phone*, primeiro *software* dedicado à comunicação por VoIP. Esse *software* foi o precursor dos *softphones*, sendo que atualmente um dos mais populares é o Skype (Figura 3.1).

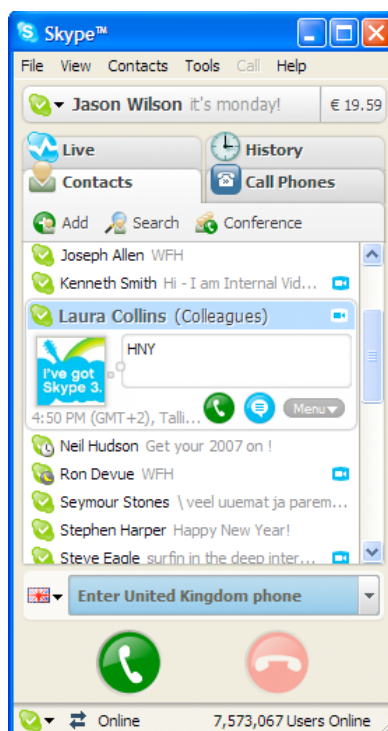


Figura 3.1 – Tela do software Skype
Fonte: (SKYPE, 2007)

Por volta de 1998, a tecnologia VoIP obteve um progresso considerável com a chegada dos primeiros *Gateways* de voz, equipamentos capazes de interligar aparelhos telefônicos convencionais ou centrais telefônicas de empresas (PABX) à rede de dados para comunicação entre estes sistemas com sistemas VoIP.

Segundo Colcher et al (2005, p. 8), ao final da década de 1990, com o aumento nas taxas de transmissão na Internet e com o início da produção de equipamentos específicos para VoIP (*gateways*, adaptadores, telefones IP), a preços competitivos, por fabricantes de grande porte, propiciou uma melhoria abrupta na qualidade de comunicação dessa tecnologia. Nesse mesmo período surgiram os primeiros padrões relacionados a VoIP, tanto por parte do ITU (*International Telecommunication Union*), quanto por parte do IETF (*Internet Engineering Task Force*), quanto por parte de ambos, conjuntamente.

A partir do ano 2000, o serviço de VoIP teve sua entrada definitiva no mercado corporativo, tendo atualmente provedores dos mais variados tipos, que também oferecem serviços de telefonia sobre as mais diversas infra-estruturas, entre elas, DSL (*Digital Subscriber Line*), *cable modem* e WiFi (*Wireless Fidelity*), todas sobrepostas pelo IP.

3.2 Cenários de utilização da tecnologia VoIP

Segundo Colcher et al (2005, p. 146), os cenários para conversação através da tecnologia VoIP são os seguintes:

VoIP de terminal IP para terminal IP – Neste cenário, os interlocutores usam equipamentos dotados de *codecs* de áudio e interfaces ligadas a uma rede IP em suas conversações (Figura 3.2). Esses equipamentos, genericamente denominados terminais ou agentes de usuário, podem ser dos mais variados tipos.

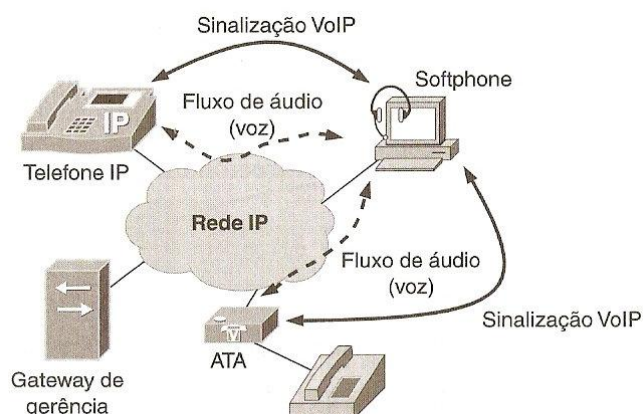


Figura 3.2 – Comunicação de voz de terminal IP para terminal IP

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 147)

VoIP de terminal IP para telefone – Neste cenário, a integração entre RTCC (Rede Telefônica Comutada por Circuito) e serviços conversacionais de VoIP envolve o uso de dois componentes adicionais, chamados *gateways* de voz e *gateways* de sinalização. A Figura 3.3 representa a sinalização telefônica como sendo passada diretamente ao *gateway* de sinalização, mas na prática é comum que durante o estabelecimento de uma chamada telefônica a sinalização passe pelas mesmas centrais telefônicas a serem usadas pela chamada. Isso se reflete nos cenários de integração com serviços de VoIP por meio do repasse indireto da sinalização telefônica ao *gateway* de voz.

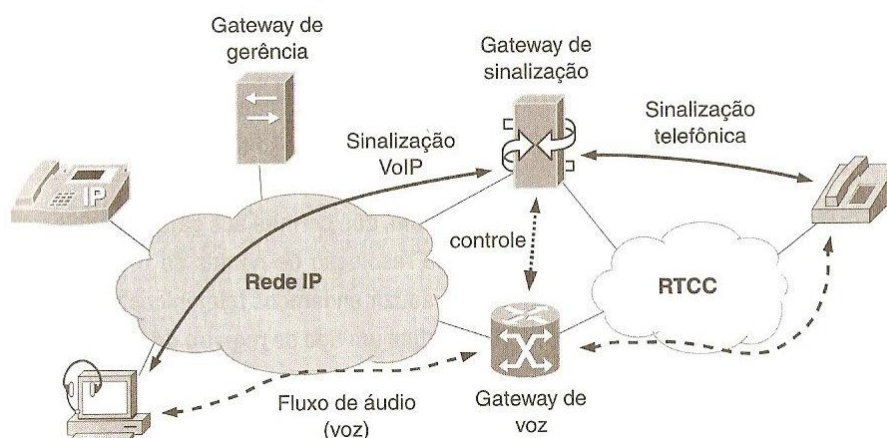


Figura 3.3 – Comunicação de voz de terminal IP para telefone

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 149)

VoIP de telefone para telefone – Este cenário se apresenta como um caso misto dos dois cenários anteriores, em que *gateways* de voz e de sinalização permitem que RTCCs distintas utilizem redes IP para se interligarem (Figura 3.4). Esse cenário ocorre tipicamente, mas não somente, em instituições e empresas que possuem instalações geograficamente dispersas, em que cada instalação possui uma CPCT própria, e a ligação entre as instalações é provida por uma rede IP.

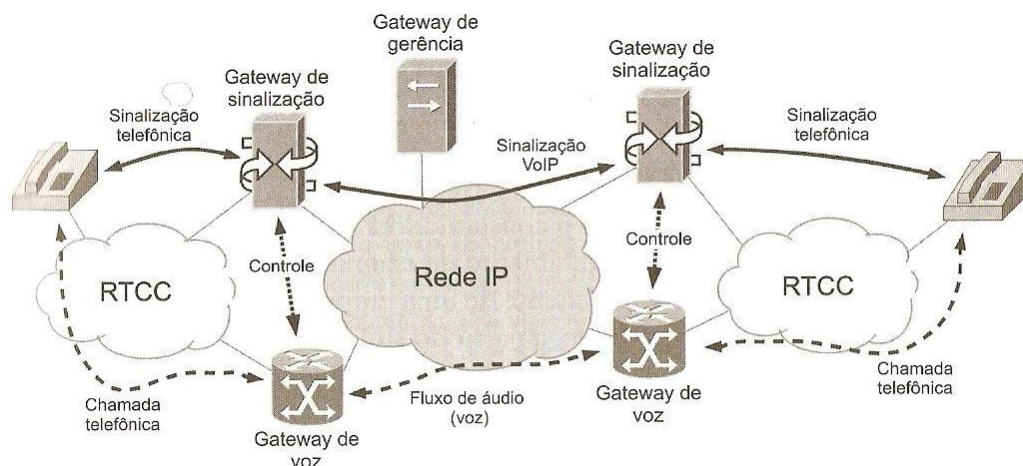


Figura 3.4 – Comunicação de voz de telefone para telefone usando redes IP

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 151)

3.3 Vantagens na Utilização de VoIP

O uso da tecnologia VoIP traz algumas vantagens. A implementação de VoIP nas empresas cria ilhas de rede de voz sobre IP. As localidades distantes são interconectadas com uma rede IP corporativa pela qual a voz é transmitida. Para se comunicar com a RTPC é necessário que em alguma das localidades seja instalado um *gateway* que transforma os padrões de uma rede para os da outra (REICHERT apud ZAHORUJKO et al, 2000). A área

empresarial está utilizando cada vez mais a tecnologia VoIP basicamente pelos seguintes motivos (REICHERT, 2004, p. 23):

- Redução do custo mensal com a agregação de voz e dados na mesma rede que é menor que a soma dos custos individuais de cada uma;
- Redução dos custos de operação pela integração dos serviços em uma equipe que mantém os dois serviços;
- Diminuição da necessidade de facilidades PABX;
- Integração das redes de voz das diversas localidades da empresa.

Outra área que pode se beneficiar com a VoIP é o segmento das operadoras de telefonia de longa distância através da implantação de rede de pacotes privada para cursar o tráfego de voz, substituindo os meios tradicionais em que é alocada uma banda fixa durante todo o intervalo da ligação. As principais vantagens desse segmento são (REICHERT, 2004, p. 24):

- Maior número de ligações por ocupação de banda;
- Redução nos custos de ligações de longa distância, que aumenta o lucro.

Enfim, os usuários residenciais só terão vantagens quando for implantada a telefonia IP, com um aparelho IP que possa explorar todas as potencialidades que a integração entre dados e voz pode oferecer. O primeiro desafio será conseguir oferecer serviços adicionais a preços compatíveis. Pela situação de competição entre operadoras, a oferta de novas funcionalidades sem ônus será um diferencial capaz de atrair qualquer tipo de consumidor.

3.4 Codificação de Sinais de Voz

Para Alves (2004, p. 4), quando se deseja transmitir voz através de uma rede telefônica, é preciso transformá-la em um sinal elétrico, também analógico. Na telefonia convencional esta função é realizada pela cápsula receptora do aparelho telefônico. Numa rede de computadores, cujo meio de transmissão é digital, para transmitir a voz, é necessário, antes de enviar, transformá-la em um sinal digital.

A conversão analógico/digital consiste no processo de se representar um sinal com precisão infinita originalmente na forma analógica como o sinal elétrico produzido por um microfone, por um conjunto finito de números a uma taxa de amostragem constante. Esse procedimento simples é essencial para se permitir análise computacional, redução na taxa de bits, armazenamento e transmissão digital de qualquer sinal de fala ou som.

Segundo HERSENT (2002, p. 224), alguns fatores que influenciam na qualidade de voz sintetizada são a taxa de amostragem e o número de representações diferentes (número de bits) usado para codificar o sinal.

A conversão do sinal analógico em sinal digital pode ser feita por três processos básicos, modulação PAM (*Pulse Amplitude Modulation* - Modulação em Amplitude de Pulso), Quantização e PCM (*Pulse Code Modulation* - Modulação em Código de Pulso) (ALVES, 2004, p. 5):

Modulação PAM – É a transformação do sinal analógico em um trem de pulsos, onde a amplitude do pulso é diretamente proporcional à amplitude instantânea do sinal amostrado. É utilizada como modulação secundária no processo de digitalização. O processo de amostragem transforma o sinal analógico em digital a uma taxa mínima de duas vezes a frequência máxima do sinal. Na modulação PAM um canal é amostrado 8000 vezes por segundo com 8 bits, de onde 8.000 vezes/segundo x 8 bits /vez corresponde a 64 Kbps.

Quantização – É o processo de tornar o sinal modulado em PAM, dentro de níveis pré-estabelecidos de tensão chamados de valores de decisão. Quando um pulso está acima de um nível de decisão, ele é aproximado para o nível superior imediato. Quando está abaixo da linha de decisão, ele é aproximado para o nível inferior imediato. Durante o processo de quantização do sinal podem ocorrer erros. Uma técnica de diminuir os erros é fazendo a compressão dos sinais, evitando-se distorções.

PCM – É a técnica de relacionar cada nível de decisão de um sinal modulado tipo PAM, a um código binário de 8 bits. O sinal resultante será uma cadeia de “zeros” e “uns”. Este sinal está pronto para trafegar em uma rede LAN (*Local Area Network* - Rede Local) ou WAN (*Wide Area Network* - Rede Geograficamente Distribuída), faltando apenas codificá-lo.

3.5 Codecs

Nos sistema de transmissão de Voz sobre IP, onde a demanda por banda é crítica, torna-se necessário utilizar também algoritmos de compressão do sinal de Voz. Esses algoritmos têm papel relevante pela economia de banda que proporcionam. O seu uso tem sido possível graças ao desenvolvimento dos Processadores de Sinais Digitais (DSP - *Digital Signal Processor*), cuja capacidade de processamento tem crescido vertiginosamente (TELECO, 2007).

Estas necessidades incentivaram o desenvolvimento de tecnologias mais complexas para a digitalização e compressão de Voz. Segundo Meggelen et al (2005, p. 114), os Codecs são geralmente entendidos como sendo vários modelos matemáticos utilizados para digitalmente codificar (e compactar) informações analógicas de áudio. Originalmente, o termo CODEC refere-se a um CODificador/DECodificador, sendo um dispositivo que converte entre analógico e digital. Agora, o termo parece se relacionar mais a COMpressão/DEsCompressão.

Os principais codificadores de voz padronizados para a arquitetura VoIP são (HARFF, 2006, p. 35):

G.711 – Utiliza a técnica PCM para digitalização do sinal de voz. A taxa de transmissão é de 64kbps. O G.711 é um padrão reconhecido internacionalmente, largamente utilizado na conversão de sinais de voz analógicos para transmissão em redes digitais;

G.722 – Utiliza uma variante da técnica ADPCM (*Adaptative Differencial Pulse Code Modulation*), denominada SB-ADPCM (*Sub Band Adaptative Differencial Pulse Code Modulation*). É utilizado nos canais B (64kbps) da RDSI para transmissão de sinais de áudio de média qualidade. O atraso gerado na codificação é pequeno, cerca de 5ms;

G.723.1 - O padrão ITU-T G.723.1 (uma combinação de G.721+G.723) produz níveis de compressão digital de voz de 10:1 e 12:1, operando respectivamente a 6.3 kbps e 5.3 kbps, com maior qualidade para a taxa mais alta. A característica de largura de faixa reduzida é ideal para telefonia pela Internet em tempo real e para aplicações sobre linhas telefônicas convencionais. O G.723.1 se tornou um padrão emergente para a interoperabilidade da transmissão de voz entre plataformas distintas. Testes demonstraram uma qualidade equivalente à qualidade comercial (*toll quality*) dos serviços de telefonia convencional com apenas 1/10 de largura de faixa utilizada pelos sistemas PCM atuais;

G.729 – Utiliza a técnica de codificação denominada CS-ACELP (*Conjugate Structure Algebraic Codebook Excited Linear Prediction*) para codificar um sinal analógico na faixa de voz em um sinal digital de 8 Kbps. Uma versão mais enxuta do padrão G.729 pode ser encontrada no padrão G.729a. Este é compatível com o G.729 em termos de taxa de bits e de atraso. Por esse bom desempenho com pouca exigência de capacidade de processamento, a técnica G.729a tem sido muito utilizada nos sistemas comerciais de VoIP.

Speex – Possui uma taxa de bits variável, o que significa que possibilita a modificação dinâmica da taxa de bits, podendo variar de 2,15 a 44,2 kbps para responder às condições da rede. É baseado em CELP (*Codebook Excited Linear Prediction*), possuindo suporte à detecção de voz. O Speex é um Codec totalmente livre.

iLBC - Utiliza algoritmo de predição linear (LPC - *Linear Predictive Coding*), fornecendo um atrativo baixo uso de largura de banda e qualidade. Devido ao fato de utilizar algoritmos complexos para obter seu alto nível de compressão, possui um custo elevado de processamento, apresentando qualidade de voz melhor que o Codec G.729, semelhante necessidade consumo de processamento e grande robustez quanto à perda de pacotes. Esse Codec opera a 13,3 kbps (quadro de 30ms) e 15,2 (quadro de 20ms), sendo de utilização livre, porém a dona da patente, *Global IP Sound*, requisita ser informada sempre que o Codec for utilizado em uma aplicação comercial.

A Tabela 3.1 apresenta resumidamente os principais Codecs para voz.

Tabela 3.1 – Codecs para voz.

Padrão	Algoritmo	Taxa de Compressão (Kbps)	Recursos de Processamento Necessários	Qualidade de Voz Resultante	Atraso Adicionado	MOS Estimado
G.711	PCM	48, 56, 64 (sem compressão)	Nenhum	Excelente	Nenhum	4,2
G.722	SBC/ADPCM	64 (faixa passante de 50 a 7 KHz)	Moderado	Excelente	Alto	N/D
G.723.1	MP-MLQ ou ACELP	5.3, 6.4	Moderado	Boa (6.3) Moderada (5.3)	Alto	3,9 (6.4) 3,7 (5.3)
G.726	ADPCM	16, 24, 32, 40	Baixo	Boa (40) Moderada (24)	Muito Baixo	4,3
G.728	LD-CELP	16	Muito Alto	Boa	Baixo	4,3
G.729	CS-ACELP	8	Alto	Boa	Baixo	4
Speex	CELP	2.15 a 44.2	N/D	Variável	Variável	Variável
iLBC	LPC	13.33 ou 15.2	Alto	Boa	Alto	3,8 (13.33) 3,9 (15.2)

Fonte: (HARFF, 2006, p. 34).

Este capítulo apresentou os principais conceitos relacionados a tecnologia VoIP, bem como alguns dos principais codecs e vantagens obtidas com a utilização dessa tecnologia. O capítulo a seguir aborda os principais protocolos relacionados a tecnologia VoIP.

4 PROTOCOLOS VOIP

Os protocolos utilizado em VoIP podem ser divididos em duas categorias: os protocolos de transporte e os protocolos de sinalização. Nesse capítulo são tratados os protocolos de transporte RTP/RTCP, e os de sinalização, H.323 e SIP.

4.1 RTP/RTCP

O RTP (*Real-Time Transport Protocol* – Protocolo de Transporte em Tempo Real) é um protocolo de transporte de rede fim a fim direcionadas para aplicações que transmitem fluxo de dados em tempo real, como áudio, vídeo e dados de simulações (COLCHER et al, 2005, p. 140). Foi projetado para permitir que os receptores compensem o *jitter*² e a perda de sequência dos pacotes introduzidos pelas redes (HERSENT et al, 2002, p. 10).

O RTP comumente roda sobre o UDP. O lado remetente encapsula uma porção de mídia dentro de um pacote RTP, em seguida encapsula o pacote em um segmento UDP, e então passa o segmento para o IP. O lado receptor extrai o pacto RTP do segmento UDP, em seguida extrai a porção de mídia do pacote RTP e então passa a porção para o transdutor para decodificação e apresentação. (KUROSE; ROSS, 2006, p. 465).

O RTP não trata da reserva de recursos e não garante a qualidade de serviço (QoS - *Quality of Service*) para serviços de tempo real, mas atribui esses requisitos para serviços tais como os oferecidos pelas arquiteturas IntServ e DiffServ.

² *Jitter* é uma variação estatística do retardo na entrega de dados em uma rede, ou seja, pode ser definida como a medida de variação do atraso entre os pacotes sucessivos de dados.

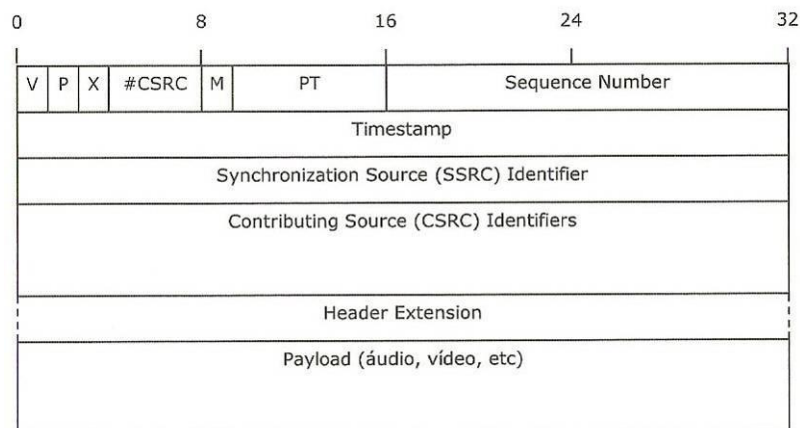


Figura 4.1 – Formato do pacote RTP

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 143)

A Figura 4.1 apresenta o formato do pacote RTP. Os doze primeiros octetos estão presentes em todos os pacotes de um fluxo de dados de uma sessão RTP, enquanto a lista de identificadores CSRC (*Contributing Source*) só se encontra presente quando inserida por *mixers*. Cada um dos campos é descrito a seguir (COLCHER et al, 2005, p. 142):

- *V (Version)*: versão do RTP;
- *P (Padding)*: indica a presença ou não de preenchimento das posições finais do pacote com um ou mais bytes que não fazem parte da carga (Pay-load);
- *X (Extension)*: indica a presença ou não de extensão de cabeçalho (Header Extensions);
- *CC (CSRC Counter)*: contador do número de identificadores CSRC após o cabeçalho fixo;
- *M (Marker Bit)*: delimita o conjunto de dados relacionados (por exemplo, o início de uma rajada de áudio ou o fim de um quadro de vídeo);
- *PT (Payload Type)*: indica o formato da carga do RTP e determina sua interpretação pela aplicação;
- *Sequence Number*: incrementado em um para cada pacote RTP, e pode ser utilizado pelo receptor para detectar a perda de pacote ou restaurar a própria sequência;
- *Timestamp*: utilizado pelo receptor para sincronização e cálculo do *jitter*.

- *SSRC (Synchronization Source) Identifiers*: valor utilizado para identificar um fluxo específico em uma sessão RTP. Esse campo é necessário para o receptor poder agrupar pacotes com o mesmo SSRC para reprodução.
- *CSRC (Contributing Source) Identifiers*: lista de identificadores CSRC inseridos por mixers.

Segundo Hersent et al (2002, p. 14), o RTCP (*RTP Control Protocol* – Protocolo de Controle em Tempo Real) é usado para transmitir aos participantes, de tempos em tempos, pacotes de controle relativos a uma sessão RTP em particular. Esses pacotes de controle podem incluir informações a respeito dos participantes e informações sobre o mapeamento dos participantes em suas fontes de fluxo individuais.

Friedman et al (2003) definiu a incorporação do pacote XR (*Extended Report*) ao RTCP, criando o RTCP XR (*RTP Control Protocol Extended Reports*). Os pacotes XR são compostos por blocos de informação, e sete tipos de blocos são definidos inicialmente no RTCP XR. O propósito é complementar as seis estatísticas contidas nos blocos informativos usados pelos pacotes do *Sender Report* e *Receiver Report* do RTCP.

O RTCP desempenha quatro funções principais:

- Prover informação a respeito da qualidade da distribuição dos dados de um fluxo.
- Transportar um identificador de nível de transporte persistente para um transmissor em uma sessão RTP, chamado nome canônico (*canonical name* ou CNAME).
- As funções anteriores requerem que todos os participantes enviem pacotes periodicamente, assim, a taxa de envio dos mesmos deve ser controlada para que o RTP possa ser escalável para um grande número de participantes.
- Transportar informações mínimas de controle de sessão, como, por exemplo, a identificação do participante que deve ser apresentada na interface do usuário.

A lista a seguir apresenta os tipos de informação que são gerados pelo RTCP (COLCHER et al, 2005, p. 144):

- *SR (Sender Report)*: para estatísticas de transmissão e recepção de participantes que são transmissores ativos em uma sessão.
- *RR (Receiver Report)*: para estatísticas de recepção de participantes que não são transmissores ativos em uma sessão.
- *SDES (Source Description)*: itens que descrevem um transmissor em uma sessão, como o CNAME.
- *BYE*: para indicar fim de participação de uma aplicação em uma sessão.
- *APP*: para funções específicas da aplicação.

4.2 H.323

A recomendação H.323 foi definida pelo ITU-T com a finalidade de padronizar a transmissão de dados em sistemas de conferência audiovisual por meio de redes comutadas por pacotes. Nessa recomendação são definidos os componentes presentes em um sistema H.323 e os fluxos de informação previstos entre esses componentes, bem como os protocolos usados no transporte desses fluxos.

Os protocolos referenciados na recomendação H.323 operam nos níveis de sessão, apresentação e aplicação do modelo OSI³ (*Open Systems Interconnection*), necessitando, portanto, que a rede comutada por pacotes em uso ofereça serviços de entrega fim a fim de nível de transporte (COLCHER et al, 2005, p. 157).

Segundo Kurose e Ross (2006, p. 477), o padrão H.323 é uma especificação guarda-chuva que inclui as seguintes especificações:

- Uma especificação para o modo como os terminais negociam codificações comuns de áudio/vídeo. Como o H.323 suporta uma variedade de padrões de codificação de áudio e vídeo, é preciso um protocolo para permitir que os terminais comunicantes cheguem a um acordo quanto a uma codificação comum.

³ Modelo de referência para permitir a comunicação entre máquinas heterogêneas e que serve de base para qualquer tipo de rede, seja de curta, média ou longa distância.

- Uma especificação para o modo como porções de áudio e vídeo são encapsuladas e enviadas à rede. Em particular, para essa finalidade o H.323 impõe o RTP.
- Uma especificação para o modo como os terminais se comunicam com seus respectivos *gatekeepers*.
- Uma especificação para o modo como telefones por Internet se comunicam por meio do *gateway* com os telefones comuns da rede pública de telefonia por comutação de circuitos.

4.2.1 Componentes da Arquitetura H.323

Os quatro componentes principais de um sistema baseado na H.323 são:

Terminal – É um componente que provê comunicação em tempo real e em duas direções com outro terminal, *gateway* ou MCU (*Multipoint Control Unit*). Pode ser, por exemplo, um telefone IP ou um microcomputador com recursos multimídia executando uma aplicação específica para comunicação de voz.

Gateway – É um componente opcional em um sistema H.323, mas são necessários quando se deseja estabelecer uma comunicação entre terminais em diferentes tipos de rede. As principais aplicações dos *gateways* na telefonia IP são de garantir a interoperabilidade com terminais da RTPC analógicos, com terminais remotos H.320 através de redes baseadas em RDSI e com terminais remotos H.323 através de redes baseadas em PSDN (*Public Switched Data Network*).

Gatekeeper – Também é um componente opcional em um sistema H.323, mas sua utilização permite o controle centralizado do sistema, uma vez que, na presença dele, todos os pontos finais devem ser registrados nele. Entre as principais funções de um *gatekeeper* estão a tradução de endereços, o controle de admissões, controle de largura de banda e gerenciamento de zona.

Multipoint Control Unit – Uma MCU é outro componente opcional de um sistema H.323 que permite o estabelecimento de conferência entre três ou mais pontos finais. Ela consiste em um MC (*Multipoint Controller*), que centraliza o processo de estabelecimento de

chamadas multiponto, e de zero ou mais MPs (*Multipoint Processors*), que são responsáveis pelo encaminhamento de fluxos de áudio, vídeo e dados textuais entre os pontos finais de uma conferência multiponto.

A Figura 4.2 ilustra a organização lógica de um sistema baseado na H.323.

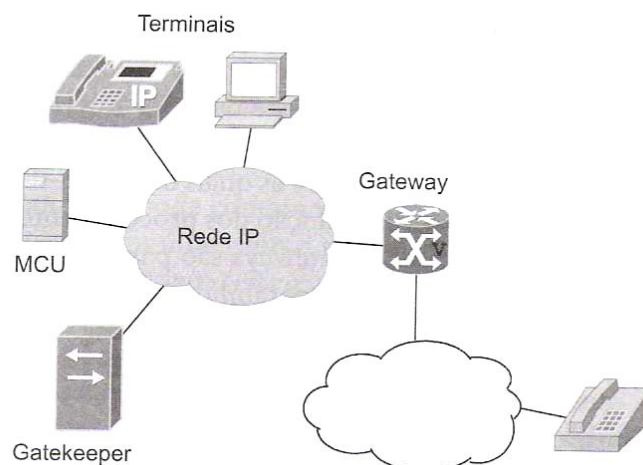


Figura 4.2 – Componentes de um sistema H.323

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 159)

4.2.2 Pilha de Protocolos H.323

O departamento de telecomunicações do ITU, o ITU-T, define que o padrão H.323 é um conjunto de protocolos necessários pra que haja sinalização e controle de comunicações entre terminais H.323. Portanto fazem parte dessa recomendação os seguintes protocolos (VOLTAN J., 2005, p. 24):

H.225.0 (Q.931 – procedimento de sinalização de comunicação entre os terminais das redes RDSI) - é o protocolo de sinalização de chamadas e encapsulamento de fluxo de dados multimídia para sistemas de comunicação baseada em pacotes. Define o método para o estabelecimento de chamadas H.323. A terminologia H.225.0 (Q.931) é usada devido à eficiência que o padrão Q.931 tem em estabelecer chamadas e o desejo do padrão H.225 se tornar compatível com essas redes. As principais funções do padrão H.225.0 são:

- *Sinalização de chamadas*: Sob o canal de sinalização de chamadas (redes TCP⁴/IP) trafegam várias mensagens sob o formato da recomendação Q.931,

⁴ Protocolo responsável por verificar o envio correto dos pacotes de dados, na sequência apropriada e sem erros.

estas tem como objetivo sinalizar (iniciar e terminar) chamadas e trafegam entre os equipamentos (terminais H.323 e GK, ou entre GKs) que fazem parte da comunicação. Se a rede não possuir um gatekeeper estas mensagens são passadas ponto-a-ponto usando o endereçamento de sinalização da chamada, já nas redes que possuem o *gatekeeper*, as mensagens são trocadas entre o terminal chamador e o *gatekeeper*, utilizando mensagens de endereçamento RAS (*Register, Admission and Status*).

- *Controle de conferência e equipamentos na rede*: Esta fase é realizada após a sinalização da chamada e são utilizadas mensagens do tipo RAS responsáveis pelo registro, admissão e status dos equipamentos da rede, estas mensagens definem o controle da rede e tem suporte aos pacotes UDP⁵/IP.
- *Comunicação entre Gatekeepers*: São mensagens utilizadas na comunicação entre GKs, para estabelecer o processo de sinalização e controle entre zonas distintas.
- *Transporte de mídia*: Para este evento utilizam-se os protocolos RTP e o RTCP, para o transporte de voz.

H.245 (Control Protocol for Multimedia Communication – Protocolo de Controle para Comunicações Multimídia) - é o protocolo que fornece os padrões para o controle do transporte da voz entre as chamadas entre terminais. Estas mensagens têm suporte a TCP/IP e são enviadas entre *Gateways* e MCUs, de chamadas ponto-a-ponto ou ponto-multiponto. Este protocolo é utilizado depois do estabelecimento da chamada. O H.245 tem a capacidade de se adaptar às mudanças que ocorrem na rede, como por exemplo: alterações na disponibilidade da rede e/ou capacidades dos elementos H.323, isso se deve a negociação dinâmica que ocorre entre terminais, que negociam vários aspectos da comunicação como, por exemplo: formato de imagens e áudio, codecs e taxa de transmissão. O controle é feito através do canal lógico 0 (zero) que fica sempre aberto.

No estabelecimento de uma sessão básica o H.323 utiliza três protocolos de controle, o H.225.0 RAS, o H.225.0/Q931 e o H.245.

⁵ Protocolo de transporte não orientado a conexão que não garante a entrega apropriada dos pacotes de dados ao seu destino.

H.235 (Security and Encryption for H-Series (H.323 and other H.245-based) Multimedia Terminals – Segurança e criptografia para terminais multimídia da série H). É uma recomendação que fornece os padrões para autenticação e segurança entre comunicações ponto-a-ponto e multiponto. Esta recomendação é necessária para o estabelecimento de serviços de segurança no padrão H.323, como por exemplo: serviços de privacidade, autenticação, não repudição e integridade. Para que isto aconteça o H.235 implementa técnicas de criptografia.

H.450.X (Generic Functional Protocol for the Support of Supplementary Services – Protocolo de Funcionamento Genérico para o Suporte de Serviços Suplementares). Este protocolo fornece os padrões de sinalização para os serviços suplementares (comuns aos sistemas telefônicos atuais) para terminais, como por exemplo: atendimento simultâneo, identificação de chamadas e etc. Cada suplemento fornecido pelo protocolo H.450 é identificado através de um número inserido ao final da identificação do próprio protocolo H.450, como por exemplo: H.450.2 define o serviço adicional de transferência de chamada (*call transfer*).

A Figura 4.3 ilustra a pilha de protocolos H.323.

Audio e Video applications	Terminal Control and Management					Data applications
G.7xx	RTCP	H.225.0 RAS		H.450.x	H.245 Media control	T.124
H.26x				Suppl. services		
RTP				H.225.0 Call control		T.125
UDP			TCP			T.123
Network Layer (IP)						
Link and Physical Layer						

Figura 4.3 - Pilha de protocolos H.323
Fonte: (DAVID, 2003, p. 22)

4.2.3 Estabelecimento de Chamadas H.323

A Figura 4.4 ilustra o estabelecimento de uma chamada em um sistema H.323 onde os dois dispositivos terminais estão registrados no mesmo *Gatekeeper*, e utiliza-se o método

direto para o roteamento do canal de sinalização da chamada (mensagens H.225) e para o roteamento do canal de controle (mensagens H.245). A descrição dos métodos de roteamento possíveis será feita no item 2.4.5. As seguintes etapas são identificadas (BRITO, 2005, p. 29):

1. Dispositivo terminal T1 envia uma requisição de admissão (ARQ) ao *Gatekeeper*. O método de sinalização de chamada requisitado por T1 é o direto.

2. O *Gatekeeper* confirma a admissão de T1 através da mensagem ACF e confirma o método de sinalização solicitado. O *Gatekeeper* pode retornar o endereço de transporte do canal de sinalização de chamada do dispositivo terminal T2 na mensagem ACF.

3. T1 envia uma mensagem de setup à T2, usando o endereço de transporte fornecido pelo *Gatekeeper*.

4. T2 responde com uma mensagem de prosseguimento de chamada.

5. T2 envia uma requisição de admissão ao *Gatekeeper* (ARQ) no canal RAS.

6. O *Gatekeeper* confirma o registro enviando a mensagem ACF.

7. T2 alerta T1 do estabelecimento da conexão enviando uma mensagem *alerting*.

8. T2 confirma o estabelecimento da conexão enviando a mensagem *connect*. A mensagem *connect* contém o endereço de transporte do canal de controle H.245, que será utilizado para a sinalização H.245.

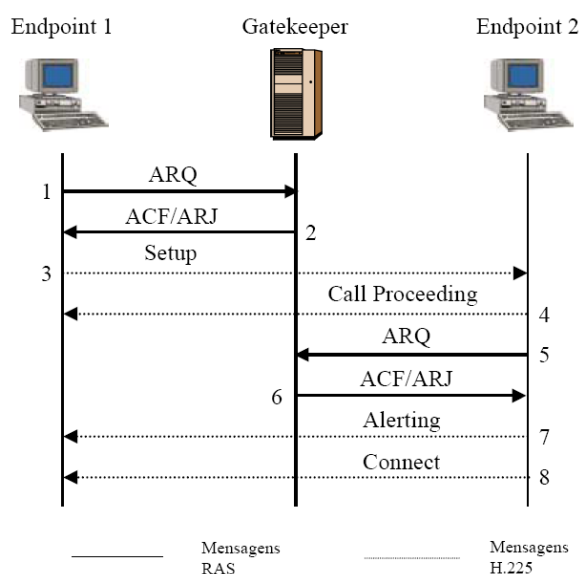


Figura 4.4 – Estabelecimento de chamada H.323

Fonte: (BRITO, 2005, p. 30)

O processo continua com o fluxo de sinalização de controle H.323, que utiliza mensagens H.245. A Figura 4.5 ilustra a troca de mensagens H.245 para o estabelecimento do canal de mídia entre T1 e T2. Os seguintes passos, em continuidade aos 8 anteriores, são identificados:

9. O canal de controle H.245 é estabelecido entre T1 e T2. T1 envia uma mensagem *Terminal Capability Set* para T2, iniciando a troca de informação entre T1 e T2 sobre suas capacidades.

10. T2 envia uma mensagem de reconhecimento da capacidade de T1 enviando uma mensagem *Terminal Capability Set Ack*.

11. T2 informa sua capacidade para T1 enviando a mensagem *Terminal Capability Set*.

12. T1 reconhece através da mensagem *Terminal Capability Set Ack*.

13. T1 abre um canal (*media channel*) com T2 enviando a mensagem *Open Logical Channel*. O endereço de transporte do canal RTCP é incluído na mensagem.

14. T2 reconhece o estabelecimento de um canal lógico unidirecional de T1 para T2, enviando a mensagem *Open Logical Channel Ack*. Incluído nesta mensagem estão o endereço de transporte RTP alocado por T2, a ser utilizado por T1 para o envio dos fluxos de áudio (e/ou vídeo) RTP, e o endereço RTCP recebido de T1.

15. T2 abre um canal (*media channel*) com T1 enviando a mensagem *Open Logical Channel*. O endereço de transporte do canal RTCP é incluído nesta mensagem.

16. T1 reconhece o estabelecimento de um canal lógico unidirecional de T2 para T1, enviando a mensagem *Open Logical Channel Ack*. Incluído nesta mensagem estão o endereço de transporte RTP alocado por T1, a ser utilizado por T2 para o envio dos fluxos de áudio (e/ou vídeo) RTP, e o endereço RTCP recebido de T2. Agora a comunicação de áudio (vídeo) bidirecional está estabelecida.

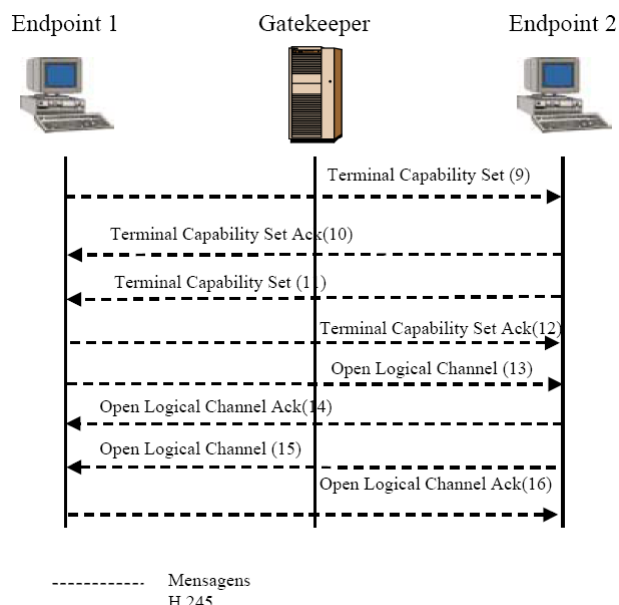


Figura 4.5 – Fluxo de sinalização de controle H.323

Fonte: (BRITO, 2005, p. 32)

A partir de então, os pacotes de áudio podem ser enviados através do protocolo RTP, com o controle sendo feito pelo protocolo RTCP. A Figura 4.6 ilustra o fluxo de pacotes de áudio (vídeo) e o fluxo de controle RTCP.

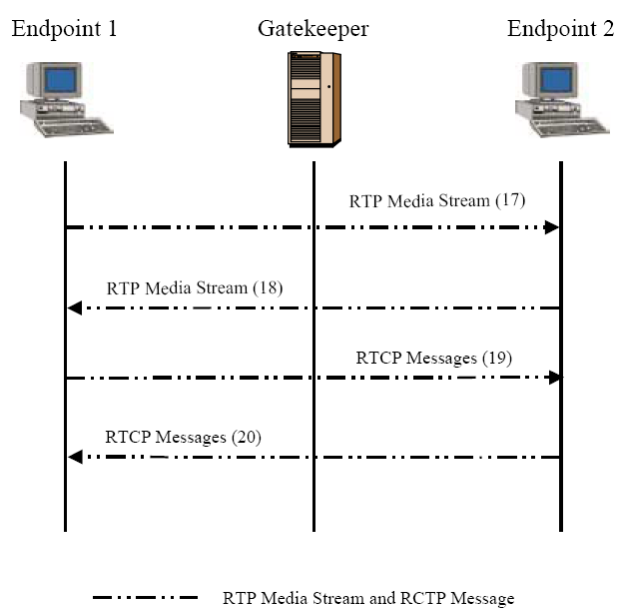


Figura 4.6 – Fluxo de pacotes de áudio e fluxos de controle RTCP.

Fonte: (BRITO, 2005, p. 33)

Após o término da troca de informação entre T1 e T2, a chamada deve ser desfeita. Este procedimento envolve troca de mensagens H.225, H.245 e RAS, como indicado na Figura 4.7, onde os seguintes passos são identificados:

21. T2 inicia a desconexão. Ele envia uma mensagem (H.245) *End Session Command* para T1.

22. T1 confirma a desconexão enviando uma mensagem *End Session Command* para T2.

23. T2 completa a desconexão da chamada enviando uma mensagem (H.225) *Release Complete* para T1.

24. T1 e T2 se desconectam com o *Gatekeeper* enviando uma mensagem (RAS) de requisição de desconexão (DRQ - *Disengage Request*) para o *Gatekeeper*.

25. O *Gatekeeper* desconecta T1 e T2 e confirma esta ação enviando a mensagem DCF (*Disengage Confirmation*) para T1 e T2.

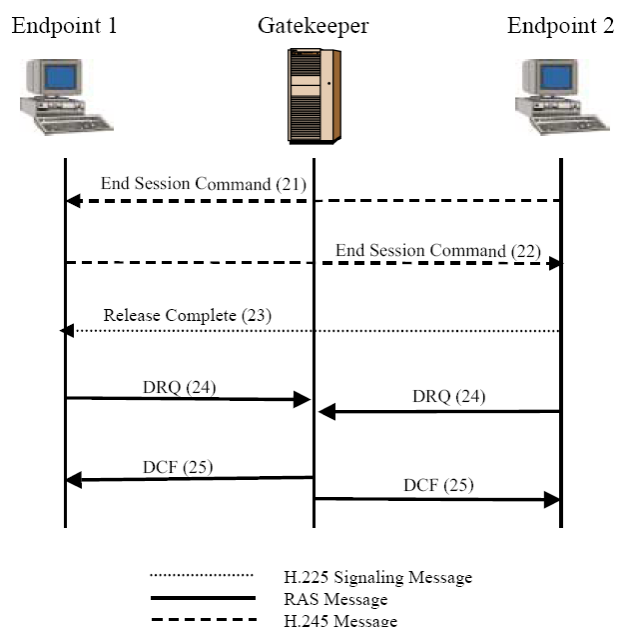


Figura 4.7 – Desconexão da chamada H.323

Fonte: (BRITO, 2005, p. 34)

4.3 SIP - Session Initiation Protocol

O protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) foi definido pelo IETF como um de seus padrões para contemplar a criação e o gerenciamento de sessões para troca de fluxos multimídia entre aplicações. É um protocolo cliente-servidor, e tem um sistema final que interage com o usuário.

Segundo Colcher et al (2005, p. 189), o protocolo SIP atua como um protocolo de sinalização de nível de aplicação, pois ele negocia o termo e as condições de uma sessão, definindo, por exemplo, os tipos de mídia e os padrões de codificação utilizados na sessão, além de auxiliar na localização dos participantes da mesma.

Para Kurose e Ross (2006, p. 472), o SIP é um protocolo simples que faz o seguinte:

- Provê mecanismos para estabelecer chamadas entre dois interlocutores por uma rede IP. Permite que quem chama avise ao que é chamado que quer iniciar uma chamada. E também permite que encerrem as chamadas.
- Provê mecanismos que permitem a quem chama determinar o endereço IP corrente de quem é chamado. Os usuários não têm um endereço IP único, fixo, porque podem receber endereços dinamicamente (usando DHCP) e porque podem ter vários equipamentos IP, cada um com um endereço IP diferente.
- Provê mecanismos para gerenciamento de chamadas, tais como adicionar novas correntes de mídia, mudar a codificação, convidar outros participantes, tudo durante a chamada, e ainda transferir e segurar chamadas.

O protocolo SIP é utilizado em conjunto com outros protocolos, como, por exemplo, o RTP/RTCP para transportar dados em tempo real e prover informações sobre QoS, o RTSP (*Real-time Streaming Protocol*) para controlar a entrega de fluxos de distribuição de mídia, o MGCP⁶ e o MEGACO/H248⁷ para controlar *gateways* de mídia, e o SDP (*Session Description Protocol*) para descrever sessões multimídia.

4.3.1 Componentes da Arquitetura SIP

A especificação SIP define os componentes da arquitetura de sinalização como clientes e servidores (COLCHER et al, 2005, p. 190):

- *Agente usuário (User Agent – UA)* - formado por uma parte cliente (*User Agent Client – UAC*), capaz de iniciar requisições SIP, e por uma parte servidor (*User Agent Server – UAS*), capaz de receber e responder a requisições SIP;
- *Servidor Proxy (proxy server)* - intermediário, que atua tanto como um servidor como um cliente, com o propósito de fazer requisições em benefício de outros clientes que não podem fazer as requisições diretamente;

⁶ Protocolo definido pelo IETF usado para controlar as conexões nos *gateways* de mídia presentes nos sistemas VoIP.

⁷ Protocolo padrão definido conjuntamente pelo IETF e ITU-T também para controle de *gateways* de mídia.

- *Servidor de redirecionamento (redirect server)* - mapeia um endereço em zero ou mais novos endereços associados a um cliente;
- *Servidor de registro (register server)* - armazena informações sobre aonde uma parte pode ser encontrada, trabalhando em conjunto com o servidor de redirecionamento e o servidor Proxy.

A dualidade do agente SIP possibilita a comunicação *peer-to-peer* (P2P) com outros agentes sem a necessidade de utilização dos serviços oferecidos pelos servidores. O agente normalmente é implementado em telefones IP, *softphones*⁸ e adaptadores de telefones analógicos (ATAs). (COLCHER et al, 2005, p. 190).

4.3.2 Mensagens SIP

As mensagens SIP podem ser requisições ou respostas. As mensagens de requisição são caracterizadas pela utilização de uma linha de requisição como uma linha de início. Cada linha de requisição é formada por um método, um endereço e a identificação da versão SIP utilizada.

A Tabela 4.1 apresenta os seis métodos de requisição do SIP e as suas funcionalidades.

Tabela 4.1 – Métodos de requisição e respectivas funcionalidades no SIP/2.0.

MÉTODO	FUNCIONALIDADE
INVITE	Convida um indivíduo para participar de uma sessão.
ACK	Confirma o recebimento de uma resposta final para uma requisição INVITE.
BYE	Solicita o término de uma sessão.
CANCEL	Solicita que uma prévia requisição seja cancelada, sendo diferente do BYE.
REGISTER	Registra a informação de contato do indivíduo.
OPTIONS	Consulta servidores com respeito a suas capacidades.

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 192)

Os demais métodos que foram definidos por extensões do SIP são apresentados na Tabela 4.2 com suas respectivas funcionalidades. O formato do endereço é definido como uma URI (*Universal Resource Identifier*) SIP ou SIPs, ou uma URI genérica.

⁸ *Softphone* - Software que implementa um telefone em um computador, sendo a interface de áudio provido pela placa de som do PC.

Tabela 4.2 – Métodos de requisições estendidos e respectivas funcionalidades.

MÉTODO	RFC	FUNCIONALIDADE
INFO	2976	Carrega informações de controle geradas durante a sessão.
MESSAGE	3428	Permite a transferência de mensagens instantâneas.
NOTIFY	3265	Permite a notificação de eventos específicos.
PRACK	3262	Confirma a recepção de uma mensagem de resposta informática.
PUBLISH	3903	Publica o estado de um evento.
REFER	3515	Solicita que o receptor faça contato com um terceiro participante.
SUBSCRIBE	3265	Permite se inscrever para um estado particular de um recurso.
UPDATE	3311	Permite a atualização dos parâmetros de uma sessão.

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 192)

As mensagens de resposta são caracterizadas pela utilização de uma linha de *status* como uma linha de início. Cada linha de status é formada pela identificação da versão do SIP utilizada, um código de *status* numérico e sua frase textual correspondente.

A Tabela 4.3 apresenta as seis classes de respostas definidas pela especificação representadas pelo primeiro dígito do código de status numérico.

Tabela 4.3 – Classes de resposta e respectivas funcionalidades no SIP/2.0.

MÉTODO	FUNCIONALIDADE	EXEMPLO
1xx	Resposta Informativa	180 Ringing
2xx	Resposta de Sucesso	200 OK
3xx	Resposta de Redirecionamento	302 Moved Temporarily
4xx	Resposta de Falha de Requisição	404 Not Found
5xx	Resposta de Falha em Servidor	503 Service Unavailable
6xx	Resposta de Falha Global	600 Busy Everywhere

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 193)

As requisições são feitas através dos clientes e as respostas são retornadas através do(s) servidor(es). Conforme ilustra a Figura 4.8, a mensagem SIP é constituída da linha de início, cabeçalhos, linha em branco e o corpo da mensagem.

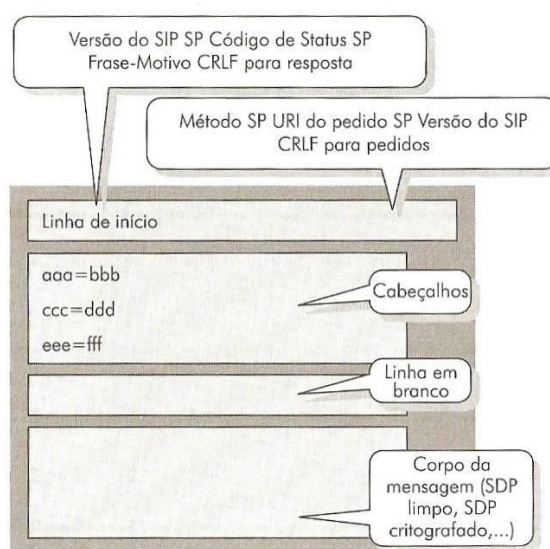


Figura 4.8 – Formato da mensagem SIP

Fonte: (HERSENT et al, 2002, p. 124)

O cabeçalho da mensagem é uma sequência estruturada de campos e é bastante semelhante aos campos do cabeçalho da mensagem do protocolo HTTP⁹. Os cabeçalhos podem ser incluídos em mensagens de requisição ou resposta, oferecendo mais informações sobre a mensagem ou indicando seu tratamento apropriado. Alguns campos do cabeçalho estão presentes tanto nas requisições como nas respostas, como por exemplo: *Call-ID*, *Cseq*, *From*, *To*, *Via*, *Encryption*, *Content-Type* e *Content-length*.

No corpo da mensagem é feito o transporte de informações relevantes para algumas operações. Tanto requisições quanto respostas podem transportar informações no corpo da mensagem. A interpretação dessas informações depende da operação à qual uma mensagem se refere, podendo, inclusive, não estar presente.

A interpretação do corpo da mensagem é indicada no valor do campo *Content-Disposition*, campo que visa estender o campo *Content-Type*. Os valores definidos na especificação do SIP para esse campo são (COLCHER et al, 2005, p. 196):

- *session*: indica que a informação se refere a dados relevantes para uma chamada.
- *render*: indica que a informação deve ser apresentada ao usuário.
- *icon*: indica que a informação contém uma imagem que se refere a um ícone representativo de um dos participantes da chamada.
- *alert*: indica que a informação deve ser apresentada ao usuário na tentativa de alertá-lo quanto ao recebimento de uma requisição de chamada.

Por questões de compatibilidade com especificações anteriores, se o campo *Content-Disposition* for omitido e o valor do campo *Content-Type* for *application/sdp*, o valor *session* deve ser assumido. Para qualquer outro valor do campo *Content-Type*, o valor *render* deve ser assumido.

4.3.3 SDP – Session Description Protocol

⁹ HTTP - Protocolo da camada de Aplicação do modelo OSI, utilizado para transferência de dados na rede mundial de computadores.

O SDP é utilizado pelo SIP para descrever sessões. Este protocolo define para um utilizador informações como tipos de áudio e vídeo que ele suporta, porta onde deverá receber os dados, nome da sessão e propósito, duração da sessão, informação de contato, largura de banda, entre outros. Estas informações são transportadas juntamente com a mensagem SIP.

A real finalidade do SDP é atuar como um negociador entre as partes envolvidas na chamada, pois ele carrega consigo todas as informações que são úteis para o estabelecimento da chamada. Como nem sempre as partes se entendem sobre, por exemplo, que tipo de áudio e vídeo irão utilizar, o SDP de ambas as partes ficam fornecendo informações sobre os áudios e vídeos, entre outras informações, que suportam até que ambos entrem em um consenso.

4.3.4 Estabelecimento de Chamadas SIP

A arquitetura de sinalização SIP suporta dois modos de comunicação, o modo direto, conhecido como peer-to-peer, onde um agente SIP envia requisições diretamente para outro agente, e o modo indireto, onde a comunicação é feita via servidor proxy.

Quando no modo direto, o agente cliente (UAC) de um participante troca mensagens SIP com o agente servidor (UAS) do outro, e vice-versa. Assim, os parâmetros da sessão podem ser negociados e a comunicação de voz estabelecida. (COLCHER et al, 2005, p. 206).

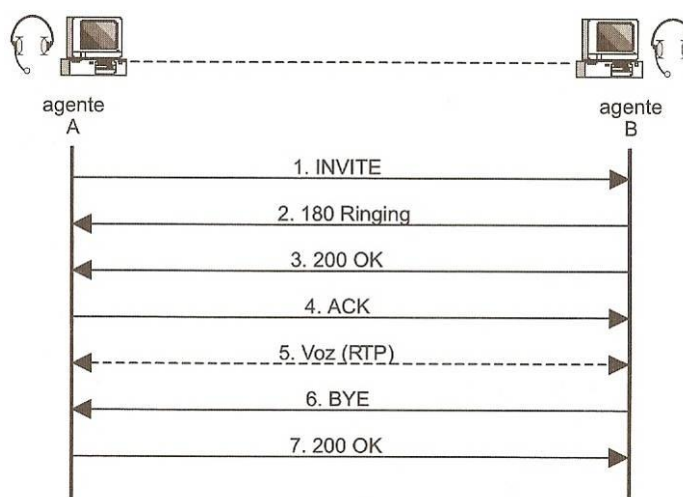


Figura 4.9 – Exemplo de fluxo de sinalização em comunicação peer-to-peer

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 207)

A Figura 4.9 ilustra um exemplo do processo de comunicação direta entre agentes SIP. Nesse exemplo, o agente B suporta os padrões de codecs de mídia oferecidos pelo agente A e aceita o estabelecimento da sessão. A descrição do fluxo de mensagens é feita nos itens a seguir (COLCHER et al, 2005, p. 206):

1. O usuário do agente A inicia a chamada e uma requisição INVITE é enviada diretamente para o endereço do agente B, iniciando a primeira transação. O INVITE contém uma informação de oferta SDP listando os padrões de codecs de mídia suportados e a porta RTP para receber *streaming* de mídia.

2. A resposta *180 ringing* é imediatamente enviada pelo agente B para o agente A, tão logo o agente B receba o INVITE, selecione um dos padrões de codecs de mídia oferecidos que seja compatível com um dos padrões suportados, e ative uma indicação áudio e/ou visual para alertar o usuário. Essa resposta indica qual padrão de codecs de mídia foi selecionado e qual porta o agente B receberá o *streaming* RTP.

3. Quando o usuário do agente B atende a chamada, a resposta *200 OK* é enviada para o agente A, encerrando a primeira transação.

4. O agente A, tendo recebido as respostas *180 Ringing* e *200 OK*, envia uma requisição ACK para completar o *3-handshake*, iniciando e encerrando a segunda transação.

5. Os dois canais de voz de mão única estabelecidos entre os agentes, um de A para B, e outro de B para A, através do RTP, são utilizados pelos usuários para a conversação. Esses canais foram representados por uma seta dupla na Figura 4.9.

6. O usuário do agente B encerra a conversação e envia uma requisição BYE para o agente A, iniciando a terceira transação.

7. O agente A recebe a requisição BYE e envia a resposta *200 OK* finalizando a chamada, fechando o canal de voz e encerrando a terceira transação.

4.4 Interoperabilidade de SIP e H.323

Segundo Colcher et al (2005, p. 248), em Schulzrinne (2005) são definidos os requisitos da função de interoperabilidade SIP-H.323 (*Interworking Function – IWF*) que deve funcionar como um conversor de protocolos. O SIP-H.323 pode ser integrado a um *gatekeeper* H.323 ou um servidor SIP. As suas funcionalidades são:

- Mapeamento das seqüências de estabelecimento e encerramento de chamadas.

- Registro dos terminais H.323 e SIP com servidores de registro SIP e com *gatekeepers* H.323.
- Resolução de endereços H.323 e SIP.
- Manutenção das máquinas de estado H.323 e SIP.
- Negociação das capacidades dos terminais.
- Abertura e fechamento dos canais de mídia.
- Mapeamento dos algoritmos de codificação de mídia para as redes H.323 e SIP.
- Reserva e liberação dos recursos relacionados a chamada.
- Processamento das mensagens de sinalização da chamada.
- Tratamento dos serviços e facilidades.

Este capítulo apresentou os protocolos utilizados pela tecnologia VoIP. O próximo capítulo aborda os principais métodos para avaliação da qualidade de voz, dentre os quais o escolhido e aplicado nos testes realizados neste trabalho de conclusão.

5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VOZ

Sempre ao se fazer referência aos sinais de voz, seja em telefonia convencional ou ainda em voz sobre IP, a qualidade do sinal é o fator que é levado em consideração. Quanto mais idêntico for o sinal de saída do sinal de entrada, melhor será a qualidade de voz.

Existem diversos métodos que permitem a avaliação da qualidade de voz, muitos deles são recomendações da ITU-T. Estes métodos podem ser divididos em métodos subjetivos, baseados na avaliação de pessoas através da escuta, e métodos objetivos, baseados em modelos matemáticos.

Este capítulo apresenta alguns métodos existentes para a avaliação da qualidade de voz, onde também é selecionado o que melhor se aplica para os testes a serem realizados no decorrer deste trabalho de conclusão.

5.1 MOS - Mean Opinion Score

O método MOS descreve métodos e procedimentos que possibilitam uma avaliação subjetiva da qualidade de transmissão de um sinal de voz. Ele é descrito pela recomendação P.800 do ITU-T (ITU-T P 800, 1996) e baseia-se na submissão de várias amostras de voz pré-selecionadas sobre meios de transmissão diferentes, reproduzidas sobre condições controladas, para um grupo misto de homens e mulheres que julgam a qualidade de voz das amostras através de uma escala numérica entre 1 e 5 (COLCHER et al, 2005, p. 116), conforme Tabela 5.1. O valor médio destas avaliações representa a qualidade da ligação.

Tabela 5.1 – Pontuação da qualidade MOS

PONTUAÇÃO	QUALIDADE AUDITIVA	ESFORÇO AUDITIVO
5	Excelente	Relaxação Completa
4	Bom	Necessário Atenção
3	Razoável	Esforço Moderado
2	Pobre	Esforço Considerável
1	Ruim	Entendido Sem Sentido

Fonte: (COLCHER et al, 2005, p. 117).

Em se tratando de ligações VoIP, a recomendação P.830, que apresenta os testes mais específicos para uma análise subjetiva de codificadores de áudio, considera como satisfatórios valores entre 3,5 e 4,2 (ITU-T P 830, 1996).

A aplicação desse método é bastante simples, pois qualquer pessoa pode ser submetida a ele, mas para se obter um alto grau de precisão é necessário que seja aplicado a um grande número de indivíduos, o que torna o processo caro e complexo.

5.2 PSQM - Perceptual Speech Quality Measure

Esta metodologia foi definida na recomendação P.861 do ITU-T (ITU-T P 861, 1996) e descreve um método para estimar de forma objetiva a qualidade de codificadores de voz apenas baseada em testes de escuta, ao contrário da P.800, que leva em consideração testes de escuta e de conversação.

Embora a PSQM fosse desenvolvida originalmente para testar codecs, ela obteve uma grande aceitação como padrão para testar sistemas VoIP. O algoritmo funciona comparando o sinal depois de ter passado pelo processo codificador e decodificador com o sinal original (CHOWDHURY, 2002, p. 347).

Para (COLCHER et al, 2005, p. 116), a pontuação relativa determinada pelo algoritmo indica o quão diferente o sinal distorcido é em relação ao original, na perspectiva do ser humano. Devido a forma como o PSQM funciona, essa pontuação de distorção é muito próxima da qual estatisticamente um grande número de indivíduos reagiriam na mesma situação de teste.

Apesar da grande utilidade do PSQM, esse método foi originalmente desenvolvido para redes de comutação de circuitos, não levando em consideração vários aspectos importantes, como *jitter* e perda de pacotes, relevantes apenas para redes baseadas em pacotes, como nas tecnologias de VoIP.

Em 1997 foi criada a metodologia PSQM+, que utilizava uma metodologia parecida com a metodologia PSQM. Apesar de ser desenvolvida pelos mesmos desenvolvedores da metodologia PSQM, ela não foi reconhecida como um padrão pela ITU-T.

A metodologia PSQM+ fornece resultados mais próximos aos da metodologia MOS que a metodologia PSQM, pois incorporou alterações que a torna mais sensível a falhas relativas a perda de pacotes e variação de atraso.

5.3 PAMS – Perceptual Analysis Meansurement System

Este método executa um teste objetivo injetando fala ou um sinal semelhante à fala em uma terminação da rede, capturando o sinal degradado no outro lado. Com isso, uma predicação de qualidade é computada a partir de uma comparação matemática entre a versão armazenada do sinal original e do sinal degradado.

Esse método produz uma pontuação de qualidade auditiva e uma pontuação de esforço auditivo, ambos correlacionados a pontuação MOS na mesma escala de 1 a 5 (COLCHER et al, 2005, p. 117).

Assim como o PSQM, os testes de medida de qualidade com o PAMS são realizados apenas através da escuta. Os mesmos apresentam uma boa exatidão em seus resultados quando o sinal da fala é submetido aos seguintes processos/parâmetros (FERNANDES, 2003, p. 79):

- Codecs de forma de onda (exemplos: G.711 e G.726);
- Codecs paramétricos e híbridos;
- Transcodificações (conversão de um formato digital para outro);
- Nível do sinal de entrada no codificador;
- Dependência de oradores (exemplos: linguagem, frases e entonação);
- Rápidas variações de atraso;
- Corte (*clipping*) temporal ou de amplitude;

- Inserção de ruído.

Porém, este método não se propõe a medir os efeitos dos seguintes impactos sobre o sinal original de fala:

- Atraso;
- Lentas variações do atraso;
- Ganho/atenuação total do sistema;
- Filtragem analógica em telefone;
- Ruído de fundo presente na entrada do sinal de voz;
- Música como sinal de entrada.

5.4 PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality

O modelo PESQ é definido na recomendação P.862 do ITU-T (ITU-T P 862, 2001) e, assim como o PSQM, a medida é obtida apenas em testes de escuta. Esta recomendação combina a precisão do modelo perceptual do PSQM+, com a robustez das técnicas de alinhamento no tempo do PAMS.

O algoritmo do método PESQ atinge os objetivos de medição em ambiente real utilizando funções de equalização, alinhamento de tempo, e um algoritmo para o cálculo das médias de distorções ao longo do tempo.

A medida de qualidade objetiva do PESQ é obtida apenas em testes de escuta ACR. Este método apresenta precisão aceitável em seus resultados, quando a clareza da voz é afetada pelos seguintes processos ou parâmetros (FERNANDES, 2003, p. 85):

- Codecs de forma de onda (exemplos: G.711, G.726 e G.727);
- Codecs paramétricos e híbridos (a partir de 4 kbps) incluindo aqueles de múltiplas taxas de transmissão (exemplos: G.728, G.729 e G.723.1);
- Transcodificações (conversão de um formato digital para outro);

- Nível do sinal de entrada no codec;
- Erros no canal de transmissão;
- Efeitos da variação do atraso em testes apenas de escuta;
- Perda de pacotes/células com codecs paramétricos e híbridos
- Ruído ambiente no lado transmissor;
- Taxa de transmissão nos casos de codecs com mais de um modo de operação;
- Deformações temporais do sinal de áudio.

Não é pretendido mensurar o impacto ou não existe precisão nas medidas afetadas pelos seguintes processos ou parâmetros:

- Atraso (cancelado pelo alinhamento de tempo);
- Níveis de escuta e ganho/atenuação total no sistema (é cancelado pelo alinhamento de nível);
- Eco percebido pelo orador;
- Som da própria voz do orador ouvido por retorno no fone.
- Por outro lado, não se conhece o impacto dos itens abaixo, nos resultados medidos pelo PESQ:
- Perda de pacotes/células com codecs de forma de onda;
- Cortes (*clipping*) temporal e de nível;
- Dependência de orador;
- Múltiplos oradores simultâneos;
- Diferença entre as taxas de transmissão do codificador e do decodificador;
- Música como sinal de entrada;

- Eco percebido pelo ouvinte;
- Codecs paramétricos ou híbridos com taxa inferior a 4 kbps.

O PESQ compara um sinal original com um sinal degradado, resultante da passagem através de um sistema de comunicação. A saída PESQ é uma predição da percepção de qualidade que seria obtida por um indivíduo, em teste subjetivo de escuta (FERNANDES, 2003, p. 88).

Baseado no conjunto de atrasos encontrados, os sinais original e degradado já alinhados são comparados utilizando-se um modelo perceptual, conforme ilustrado na Figura 5.1.

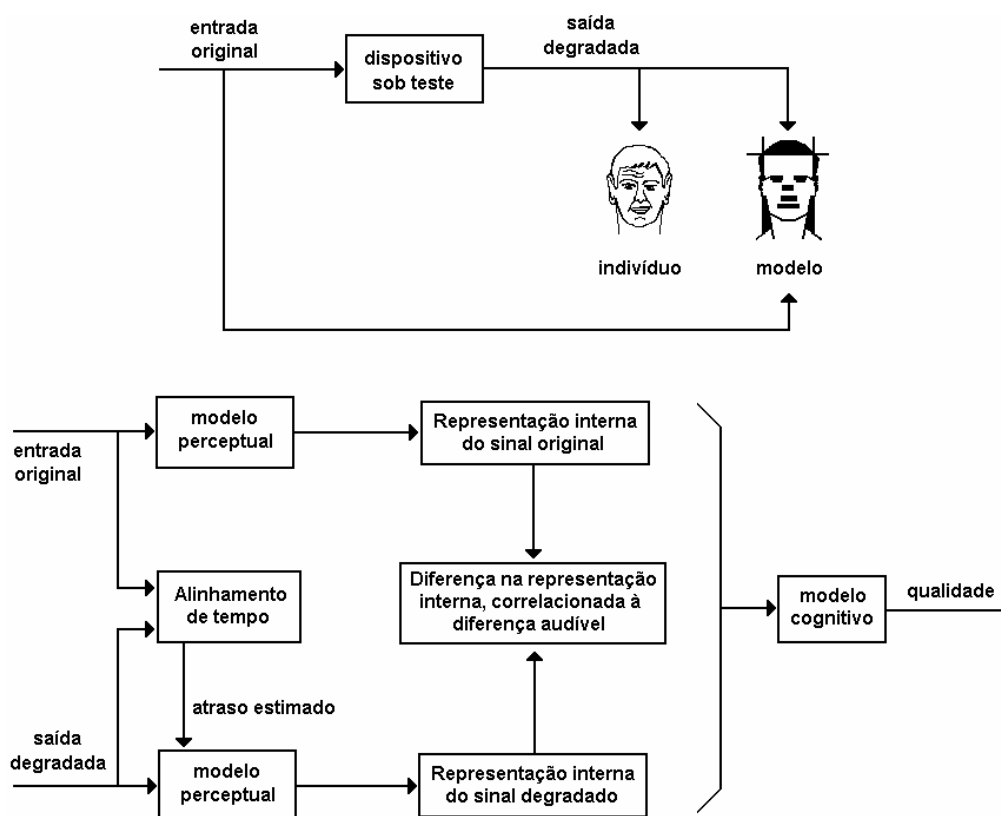


Figura 5.1 - Filosofia básica usada no PESQ.

Fonte: (FERNANDES, 2003, p. 88)

A chave desse processo é transformar ambos os sinais em uma forma de representação interna que é análoga à representação psicofísica do sinal no sistema auditivo humano, levando em conta a frequência perceptual (*Bark*) e a intensidade (*Sone*).

Isto é alcançado em vários estágios: alinhamento de tempo, alinhamento de nível para calibragem do nível de escuta, mapeamento no tempo-frequência, deformação de frequência e compressão da escala de intensidade.

O processo de atribuição da pontuação final é obtido calculando-se a distância entre o sinal original e o sinal degradado, onde a faixa de pontuação varia de -0,5 a 4,5, sendo que na maior parte dos casos esse valor obtido é bastante semelhante aqueles observados nos testes de escuta do tipo MOS.

Não existe nenhuma referência na Recomendação P.862 ou em qualquer artigo especializado, mas os profissionais que trabalham com os equipamentos de medição PESQ, atribuem ao valor 3 a menor pontuação para um sinal de boa qualidade. Valores PESQ menores que 3, são tomados como de baixa qualidade, não sendo adequados ao uso corporativo ou comercial, salvo exceções, onde não exista opção com melhor qualidade ou corresponda a uma escolha consciente por solução de baixo custo (FERNANDES, 2003, p. 92).

Este é um método de avaliação de codificadores de voz em testes de escuta simples. Porém, é um padrão formalmente estabelecido e cuja documentação é amplamente divulgada pelo ITU-T. Esta recomendação possibilita que seja notada a interferência causada pela perda de pacotes e variação do atraso, que são os pontos de observação utilizados para a identificação das modificações e clareza notadas. Dessa forma, este será o método escolhido para as avaliações de qualidade de voz a serem efetuadas no decorrer desse trabalho.

O próximo capítulo aborda os conceitos sobre a central telefônica Asterisk, apresentando suas características, as vantagens em utilizá-lo, as principais funcionalidades e os requisitos de *hardware* e *software*.

6 CENTRAL TELEFONICA ASTERISK

Existem no mercado diversas soluções comerciais que permitem a implantação da tecnologia VoIP. Grande parte dessas soluções utiliza *hardware* proprietário, o que na maioria das vezes representa um alto custo de investimento e manutenção para as corporações.

De outro lado, algumas soluções gratuitas e de código aberto estão em franca expansão no mercado, entre elas, duas se destacam, os *softwares* OpenSER e Asterisk, ambas permitem a implementação de um PABX/IP sobre computadores comuns.

O OpenSER é um servidor SIP de licença GPL (*General Public License* - Licença Pública Geral). Por definição não é um PABX completo, sendo definido com um servidor SIP, uma implementação de alto desempenho e extremamente configurável de código aberto, que se beneficia dos conceitos SIP para abrir possibilidades para o desenvolvimento dos mais diversos serviços.

O Asterisk, ao contrário do OpenSER, é um *software* de PABX completo, que também usa o conceito de *software* livre (GPL), criado pela Digium Inc. e uma base de usuários em contínuo crescimento. A Digium investe em ambos, o desenvolvimento do código fonte do Asterisk e em *hardware* de telefonia de baixo custo que funciona com o Asterisk. O Asterisk roda em plataforma Linux e outras plataformas Unix, com ou sem *hardware* conectado a rede pública de telefonia.

A escolha pelo Asterisk ocorreu justamente por este ser considerado um PABX completo, por possuir suporte a múltiplos protocolos VoIP, permitindo interoperar com praticamente todos os adaptadores VoIP existentes no mercado que seguem padrões estabelecidos, possibilitando assim a utilização de *hardware* de baixo custo.

Para Gomillion e Dempster (2005, p. 9), o Asterisk permite a utilização do protocolo de Internet (IP) para chamadas telefônicas, em harmonia com as tecnologias tradicionais para telefonia.

O Asterisk permite conectividade em tempo real entre a RTPC e as redes IP. Com a utilização do Asterisk é possível disponibilizar alguns recursos como:

- Conectar empregados trabalhando de casa para o PABX do escritório sobre conexões de banda larga.
- Conectar escritórios em vários estados sobre IP. Isto pode ser feito pela Internet ou por uma rede IP privada.
- Dar aos funcionários, correio de voz, integrado com a “web” e seu e-mail.
- Construir aplicações de resposta automática por voz, que podem conectar você ao sistema de pedidos, por exemplo, ou ainda outras aplicações internas.
- Dar acesso ao PABX da companhia para usuários que viajam, conectando sobre VPN (*Virtual Private Network* - Rede Privada Virtual) de um aeroporto ou hotel.
- Disponibilizar música em espera para clientes esperando nas filas, suportando *streaming* de mídia assim como música MP3 (*MPEG Audio Layer-3*).

6.1 Vantagens

Segundo Gomillion e Dempster (2005, p. 14), o Asterisk possui uma arquitetura poderosa sobre a qual é possível instalar inúmeros recursos. É possível configurar cada parte do Asterisk em seus mínimos detalhes, o que permite uma grande flexibilidade.

Algumas das vantagens que podem ser obtidas com o Asterisk são:

Baixos Custos: em alguns casos é possível se obter até 90% de economia quando comparado com tecnologias de PABX/IP proprietários, incluindo aí a eliminação de taxas de licenças de uso por telefone. Os custos também são cortados devido à capacidade do *software* de rodar em cima de plataforma de *hardware* padrão, que não precisam necessariamente de rack para a instalação, diferentemente dos sistemas proprietários de ponta.

Funcionalidades Flexíveis e Funções Poderosas: novas funções podem ser criadas com *scripts* na linguagem do Asterisk, escrevendo módulos em linguagem C e escrevendo *scripts* em Perl ou outras linguagens. Como resultado, a adoção do Asterisk permite criar PABXs programáveis muito poderosos, incorporando funcionalidades que, do contrário, custariam muitas dezenas de milhares de dólares.

Compatibilidade com uma Ampla Variedade de Plataformas de Sistemas Operacionais: os usuários do Asterisk podem escolher diversas distribuições Linux para instalação do servidor, e aplicações para estações entre os vários sistemas operacionais, como Windows, Linux, Mac OS X, OpenBSD, FreeBSD e Sun Solaris.

É importante lembrar que os investimentos já realizados em um PABX convencional não são perdidos, uma vez que o Asterisk pode ser trabalhar juntamente com ele.

6.2 Arquitetura

O Asterisk é projetado para permitir máxima flexibilidade. APIs¹⁰ específicas são definidas em torno do núcleo central do sistema de PABX. Esse núcleo central trata as interconexões internas do PABX, abstraindo as definições de protocolos, codecs, e interfaces de *hardware* das aplicações de telefonia. Isso permite ao Asterisk suporte a todo *hardware* e tecnologia disponíveis atualmente ou no futuro para executar suas funções essenciais, conectando *hardware* e aplicações.

O núcleo do Asterisk possui internamente os seguintes itens (DIGIUM, 2005):

Núcleo de Comutação PABX – A essência do Asterisk é um sistema de PABX, conectando chamadas entre vários usuários e tarefas automatizadas. Ele permite a conexão transparente entre os usuários do sistema, mesmo que estes utilizem diferentes tipos de configurações de *hardware* e *software* para realizarem suas chamadas.

Lançador de Aplicações – Executa aplicações que fornecem serviços como correio de voz, reprodução de arquivos, e outros, aos usuários do sistema.

¹⁰ Conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por um software para utilização de suas funcionalidades por programas aplicativos.

Codec Translator – Utiliza módulos para a codificação/decodificação dos vários formatos de compressão de áudio utilizados na indústria de telefonia. Um grande número de Codecs estão disponíveis para suportar diversas necessidades, com o objetivo de se obter a melhor medida entre qualidade de áudio e consumo de largura de banda.

Escalonador e gerente de I/O – Administra as tarefas de baixo nível e gerencia o sistema para obter a melhor *performance* em todas as condições de uso.

A Figura 6.1 ilustra a arquitetura básica do *software* Asterisk.

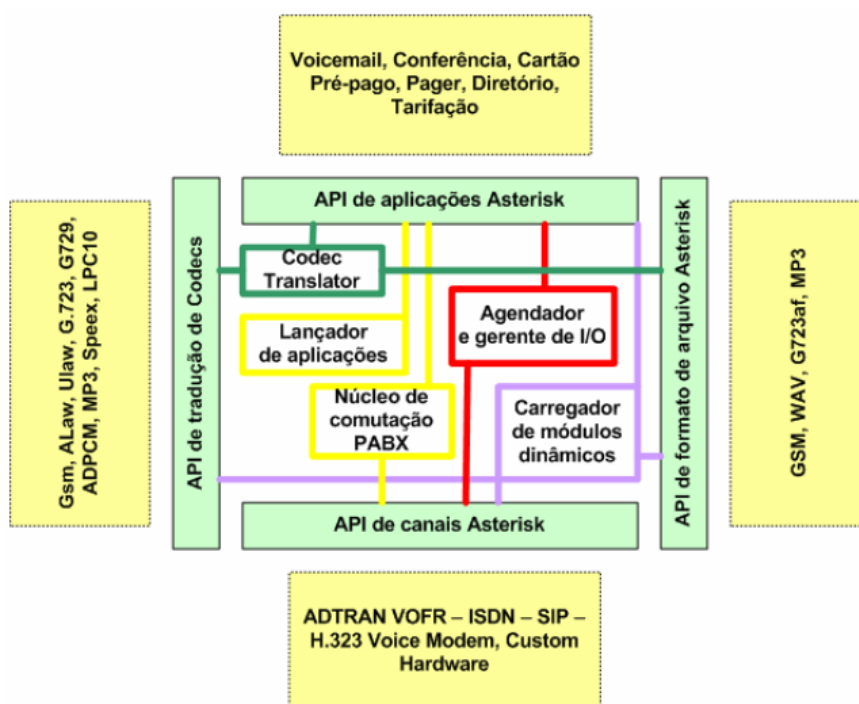


Figura 6.1 – Arquitetura básica do Asterisk
Fonte: (GOOGLE, 2007).

Quatro APIs são definidas como módulos carregáveis, facilitando a abstração de *hardware* e de protocolo. Utilizando esses módulos carregáveis, o núcleo do Asterisk não precisa se preocupar com detalhes de como um cliente está se conectando, que Codecs estão sendo utilizados, etc. Os módulos carregáveis são (DIGIUM, 2005):

API de Canal – A API de canal trata os tipos de conexão que um cliente pretende utilizar, seja uma conexão VoIP, RDSI, PRI (*Primary Rate Interface*) ou de outra tecnologia. Os Módulo dinâmicos são carregados para tratar os detalhes das camadas mais baixas destas conexões.

API de Aplicação – A API de aplicação permite a execução de várias funções como, conferência, correio de voz e qualquer outra tarefa que um sistema de PABX possa executar agora ou no futuro.

API de Tradução de Codec – Carrega os módulos de Codecs para suportar a codificação e decodificação de vários formatos de áudio como, GSM, μ -Law, a-law e MP3.

API de Formato de Arquivo – Trata a leitura e a gravação de vários formatos de arquivos para o armazenamento de dados no sistema de arquivos.

6.3 Codecs

O Asterisk possui suporte aos principais Codecs abordados no Capítulo 3, entre eles se destacam o G. 711, G.729¹¹, iLBC e Speex.

6.4 Protocolos

Além dos protocolos já abordados no Capítulo 4, o Asterisk também suporta outros protocolos como o IAX (*Inter-Asterisk eXchange*), o MGCP, o Skinny/SCCP (*Skinny Client Control Protocol*) e o UNISTIM (*Unified Networks IP Stimulus*). Na sequência será apresentada uma breve abordagem sobre esses protocolos.

6.4.1 IAX

O protocolo IAX foi desenvolvido pela Digium com o propósito de se comunicar com outros servidores Asterisk. O IAX é um protocolo de transporte que utiliza uma única porta tanto para fluxo de sinalização de canal como para o RTP (MEGGELEN et al, 2005, p. 110).

6.4.2 MGCP

O Protocolo de Controle de Mídia Gateway foi desenvolvido pela IETF. Este protocolo foi projetado para tornar os dispositivos de fim de linha tão simples quanto possível

¹¹ Necessita de licença para sua utilização.

e tem toda a lógica de chamada e processamento manuseada por *gateways* de mídia e agentes de chamada.

Diferentemente do SIP, o MGCP utiliza um modelo centralizado. Os telefones MGCP não podem ligar diretamente para outros telefones MGCP, eles devem sempre passar por algum tipo de controlador (MEGGELEN et al, 2005, p. 114).

6.4.3 Skinny/SCCP

O Protocolo de Controle do Cliente Skinny é proprietário para equipamento VoIP Cisco. Ele é protocolo original para terminais num PABX Gerenciador de Chamadas Cisco. (MEGGELEN et al, 2005, p. 114).

6.4.4 UNINSTIM

O UNISTIM é um protocolo VoIP proprietário da Nortel que recentemente aderiu ao Asterisk. Esse fato fez do Asterisk o primeiro PABX da história a suportar terminais IP proprietários dos dois maiores fabricantes VoIP, Nortel e Cisco (MEGGELEN et al, 2005, p. 114).

6.5 Principais Funcionalidades

Um PABX pode ser visto como uma placa de comutação de telefonia privada, que conecta um ou mais telefones de um lado, e, freqüentemente, uma ou mais linhas telefônicas de outro. Isto traz, usualmente, um custo-benefício maior do que o de ter uma linha telefônica independente para cada aparelho de telefone utilizado em uma empresa.

6.5.1 Ligações ponto-a-ponto

O Asterisk, como um PABX, permite ligações ponto-a-ponto. Isto significa que os usuários podem discar de um telefone para outro. Mesmo parecendo óbvio, existem sistemas de telefonia elementares, conhecidos como *Key Systems*, que suportam múltiplos aparelhos de telefone, múltiplas linhas e permitem que cada aparelho utilize qualquer linha. Em operação, os aparelhos não possuem extensões individuais para as quais se pode discar, e, portanto, não há forma de iniciar uma ligação de um aparelho para o outro. Estes sistemas são usualmente

identificados por terem todas as linhas de saída em cada telefone, geralmente com uma luz piscante. Diferentemente dos *Key System*, o Asterisk permite ligações ponto-a-ponto, permitindo comunicação interna direta.

6.5.2 Truncamento de Linhas

O Asterisk fornece truncamento de linhas, permitindo o acesso compartilhado a múltiplas linhas telefônicas. Estas linhas são usualmente utilizadas para possibilitar a conexão com a RTPC, mas podem ser linhas privadas conectadas a outros sistemas telefônicos.

6.5.3 Funcionalidades de Telecom

Todas as funcionalidades “padrão” que pudessem ser esperados de qualquer companhia telefônica (ou telecom) são suportadas pelo Asterisk. Ele suporta o envio e recebimento de *Caller ID* (identificador de chamadas), e até mesmo permite rotear chamadas de acordo com o *Caller ID*. Para usar o *Caller ID* com a RTPC é necessário assinar um serviço à parte com o provedor de conexão com a RTPC.

Outras funcionalidades suportadas pelo Asterisk comum a outros sistemas são: chamada em espera, retorno de chamada, campainha distintiva, transferência de chamadas, redirecionamento de chamadas, entre outras.

6.5.4 Distribuição Avançada de Chamadas (DAC)

Ao receber uma chamada telefônica, o Asterisk pode verificar seus atributos, e, com base neles, tomar decisões de roteamento. Se a operadora de RTPC não provê informações suficientes, é possível fazer com que o sistema solicite estas informações ao usuário que originou a ligação.

Uma vez tomada a decisão sobre como rotear a chamada, é possível direcioná-la para um único ramal, para um grupo de ramais, para uma gravação, para uma caixa postal, ou até mesmo fazê-la circular entre os terminais dos membros de um grupo de agentes telefônicos. É possível também utilizar filas de atendimento para atender aos clientes da empresa com maior eficiência.

Esse tipo de flexibilidade permite para as empresas criarem soluções que podem ser acessadas pelo telefone. O DAC garante o poder de atender os clientes da melhor maneira possível.

6.5.5 Registro de Detalhes de Ligação – CDR (Call Detail Records)

O Asterisk mantém registros completos das ligações por ele processadas. É possível armazenar estas informações num arquivo texto ou num banco de dados. Utilizando as informações armazenadas é possível monitorar o uso do sistema, identificando padrões ou anomalias que possam ter impactos aos negócios.

Esses registros podem ser comparados aos extratos enviados pelas companhias telefônicas aos seus clientes, onde é possível analisar o tráfego de chamadas, identificando os números de telefone mais chamados, o tempo de duração das ligações, etc.

6.5.6 Gravação de Chamadas

As ligações realizadas através do Asterisk podem ser gravadas e armazenadas, porém para utilizar dessa funcionalidade é necessário considerar a capacidade do *hardware* do servidor, uma vez que a utilização do espaço em disco poderá aumentar e dependendo do número de ligações o sistema poderá ter o seu desempenho prejudicado.

6.5.7 Unidade de Resposta Audível – URA

As Unidades de Resposta Audível (IVR – *Interactive Voice Response*) fornecem as empresas toda flexibilidade que um sistema de telefonia programável permite, garantindo a capacidade de responder aos seus clientes de maneira significativamente melhor.

O Asterisk permite trocar arquivos, ler textos, e até mesmo buscar informações de banco de dados. Por exemplo, é possível disponibilizar no sistema mensagens de boas vindas, mensagens de status, ou permitir que através do teclado número do aparelho telefônico seja digitada alguma credencial para autenticação, entre várias outras possibilidades.

6.5.8 Correio de Voz

O Asterisk inclui um sistema de correio de voz totalmente funcional, suportando contextos de correio de voz, de forma que múltiplas empresas possam utilizar o mesmo servidor e ainda diferentes fusos horários, para que os usuários monitorem quando suas chamadas foram recebidas. É possível também notificar o usuário através de mensagens por e-mail, permitindo inclusive que o áudio da mensagem seja anexado a mensagem.

6.5.9 Discador Automático

Essa funcionalidade é muito útil em *telemarketing*, pois é possível se programar o sistema para discar automaticamente e distribuir as ligações em uma fila. Normalmente essa tecnologia é vendida separadamente em outros PABX.

6.5.10 Sala de Conferência

Permite que vários usuários falem em conjunto. É implementado como sala de conferência, onde um usuário escolhe um ramal para ser a sala de conferência e todos os demais que discarem para lá estarão imediatamente conectados a sala. Existe opção de senha para não permitir o acesso indevido.

6.6 Requisitos de Hardware

Para Meggelen et al (2005, p. 7), em termos de requisitos de recursos, as necessidades do Asterisk são similares às de uma aplicação de tempo real. Isso se deve, em grande parte, à sua necessidade de acesso prioritário aos barramentos¹² do processador e do sistema. É, portanto, imperativo que quaisquer funções do sistema que não sejam diretamente relacionadas às tarefas de processamento de chamadas do Asterisk sejam executadas numa prioridade mais baixa. Em sistemas menores e de teste, isso não é um problema, mas em sistemas de grande capacidade, podem ocorrer falhas de desempenho, manifestadas por problemas na qualidade do áudio de para os usuários.

A Tabela 6.1 exhibe algumas orientações básicas necessárias no momento de se planejar um sistema.

¹² Conjunto de linhas de comunicação que permitem a interligação entre dispositivos, como o processador, a memória e outros periféricos.

Tabela 6.1 – Orientações sobre requisitos do sistema

Finalidade	Número de canais	Mínimo recomendado
Sistema de teste	Não mais que 5	400 MHz x86, 256 MB de RAM
Sistema SOHO ¹³	5 até 10	1 GHz x86, 512 MB de RAM
Pequeno sistema empresarial	Até 15	3 GHz x86, 1 GB de RAM
Médio a grande sistema	Mais de 15	Dupla CPU, possivelmente múltiplos servidores em arquitetura distribuída.

Fonte: (MEGGELEN et al, 2005, p. 7).

A escolha do *hardware* para um sistema Asterisk não é muito complicada. Não é necessária uma placa de vídeo sofisticada ou periféricos, mas uma boa placa de rede é essencial. Portas seriais, paralelas e USB (*Universal Serial Bus*) podem ser completamente desabilitadas. Se forem utilizadas placas da Digium é bom verificar as instruções da placa-mãe para determinar se os *slots* PCI (*Peripheral Component Interconnect* - Interconector de Componentes Periféricos) possuem suporte a elas. Muitas placas-mãe compartilham interrupções em *slots* PCI e conflitos de interrupções são uma fonte potencial de problemas de qualidade de áudio no Asterisk. Uma maneira de liberar interrupções é desabilitar na BIOS (Basic Input/Output System - Sistema Básico de Entrada/Saída) tudo que não for necessário.

6.7 Requisitos de Software

O Asterisk foi desenvolvido originalmente para rodar em Linux, embora possa ser usado no BSD e OS X. No entanto, as placas para conexão com a RTPC da Digium foram desenvolvidas para trabalhar com Linux i386.

6.7.1 Distribuição Linux

Várias distribuições foram usadas com sucesso como RedHat, Mandrake, Fedora, Debian, Slackware, Gentoo, Suse e CentOS¹⁴. Neste trabalho será utilizada a distribuição CentOS para a implementação do Asterisk.

¹³ Escritório pequeno/escritório doméstico – menos que três linhas e cinco aparelhos.

¹⁴ Distribuição Linux de classe Enterprise derivada de códigos fonte gratuitamente distribuídos pela Red Hat Enterprise Linux e mantida pelo CentOS Project.

6.7.2 Pacotes Necessários

Não existe um *hardware* especial, tal como uma placa de som, e o único pacote¹⁵ necessário é o próprio Asterisk. O pacote *zaptel* é necessário somente se for utilizado *hardware* da Digium ou *ztdummy*. Para interfaces T1¹⁶ e E1 o pacote *libpri* é necessário. O pacote *bison* é necessário para compilar o Asterisk. Os pacotes de desenvolvimento *ncurses* e *ncurses-development* são necessários caso se deseje construir novas ferramentas. As bibliotecas *zlib* e *zlib-devel* são necessárias para compilar, isto devido a adição do DUNDi (*Distributed Universal Number Discovery*) *protocol*.

Este capítulo apresentou os principais conceitos sobre o *software* Asterisk, dentre os quais, sua arquitetura, suas principais funcionalidades, os protocolos e codecs suportados, entre outros.

O próximo capítulo aborda alguns trabalhos relacionados ao conteúdo apresentado neste trabalho de conclusão, e que de alguma forma contribuíram para o seu desenvolvimento.

¹⁵ Método de distribuição e instalação de *software* em sistemas operacionais baseados em Unix onde estão encapsulados diversos arquivos (bibliotecas, manuais, scripts, executáveis, etc) necessários para utilização de um determinado programa.

¹⁶ Padrão de interconexão de centrais telefônicas nos Estados Unidos que consiste num método de transmissão digital para multiplexar múltiplos canais, de voz ou de dados em um par de fios.

7 TRABALHOS CORRELATOS

Este capítulo apresenta três trabalhos relacionados a implantação da tecnologia VoIP ou a testes com qualidade de voz utilizando a metodologia PESQ, assuntos também abordados neste trabalho de conclusão.

Um trabalho sobre o estudo e desenvolvimento de uma solução de voz sobre IP baseada em *software* livre é apresentado por HART (2005), a solução apresentada faz uso do sistema Asterisk para implantação da tecnologia VoIP, porém a metodologia utilizada nos testes realizados não é clara.

Numa solução VoIP, a qualidade de voz é um fator que pode inviabilizar a implantação dessa tecnologia em qualquer meio, seja acadêmico ou empresarial. Nos testes realizados, HART (2005) informa que os resultados foram satisfatórios, sendo imperceptível ao usuário identificar diferenças na qualidade de som entre o sistema de telefonia convencional e o sistema utilizando VoIP, porém não apresenta o método utilizado para a obtenção dos resultados.

A implantação de um laboratório de voz sobre IP na Universidade Federal de Brasília foi desenvolvido por OLIVEIRA (2007). O autor realizou diversos testes para avaliar o ambiente criado, sendo que a qualidade de voz entre clientes SIP e H.323 foi avaliada através da utilização da metodologia PESQ.

HARFF (2006), propõe a análise da qualidade de voz utilizando a metodologia PESQ através da comparação do áudio gerado pelas ferramentas Asterisk e OpenSER em chamadas SIP. Um ambiente foi especificamente desenvolvido para a realização dos testes, no entanto, os resultados obtidos com a avaliação da qualidade de voz não foram satisfatórios, pois todos estiveram abaixo do estimado.

Na metodologia do trabalho, HARFF (2006) descreve que as amostras de áudio utilizadas nos testes possuem o formato de áudio PCM, de 16 bits, e com taxa de amostragem de 8kHz, mas na utilização do aplicativo PESQ para comparação das amostras, ao informar o parâmetro *+16000*, a comparação é realizada como se a taxa de amostragem do áudio fosse de 16kHz, gerando resultados com valores errôneos.

Este capítulo apresentou três trabalhos que abordaram a implantação de um ambiente utilizando a tecnologia VoIP ou a avaliação da qualidade de voz, e que tratam, em partes, o conteúdo apresentando neste trabalho de conclusão.

O próximo capítulo é uma proposta de implementação da tecnologia VoIP em uma empresa, onde são apresentadas a estrutura atual, as necessidades e a nova estrutura proposta com a inclusão da tecnologia VoIP.

8 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE CENTRAL TELEFONICA VOIP

Este trabalho divide o processo de implementação de central telefônica VoIP em um ambiente corporativo nas etapas de levantamento da estrutura e das necessidades e na elaboração de uma proposta para implementação de central telefônica VoIP.

8.1 Levantamento da Estrutura e das Necessidades

Esta etapa consiste no levantamento da estrutura atual da rede de telefonia, incluindo a quantidade de ramais e linhas existentes e demais serviços utilizados, e da rede de comunicação de dados, identificando os circuitos da rede de dados disponíveis.

A empresa analisada possui unidades nos estados do Rio Grande do Sul, São Paulo, Bahia e Ceará. Todas as unidades estão interligadas através de circuitos de dados, sendo que a unidade central é a do Rio Grande do Sul, localizada na cidade de Ivoti.

8.1.1 Ivoti – RS

A unidade de Ivoti centraliza a grande maioria dos sistemas de informação utilizados na empresa, localidade esta onde estão hospedados os servidores da rede. A rede de dados opera a uma velocidade de 100Mbps, possuindo um *link* de 1536Kbps com a Embratel, para interligar todas as unidades da empresa, e um *link* de 2Mbps com a BrasilTelecom, para acesso a Internet. A rede também conta com dois *Access Point* (Ponto de Acesso *Wireless*) de 54Mbps cada, cobrindo toda a área administrativa e grande parte da área de desenvolvimento de produto.

A Figura 8.1 ilustra a estrutura básica de rede de dados da localidade de Ivoti, no Rio Grande do Sul.

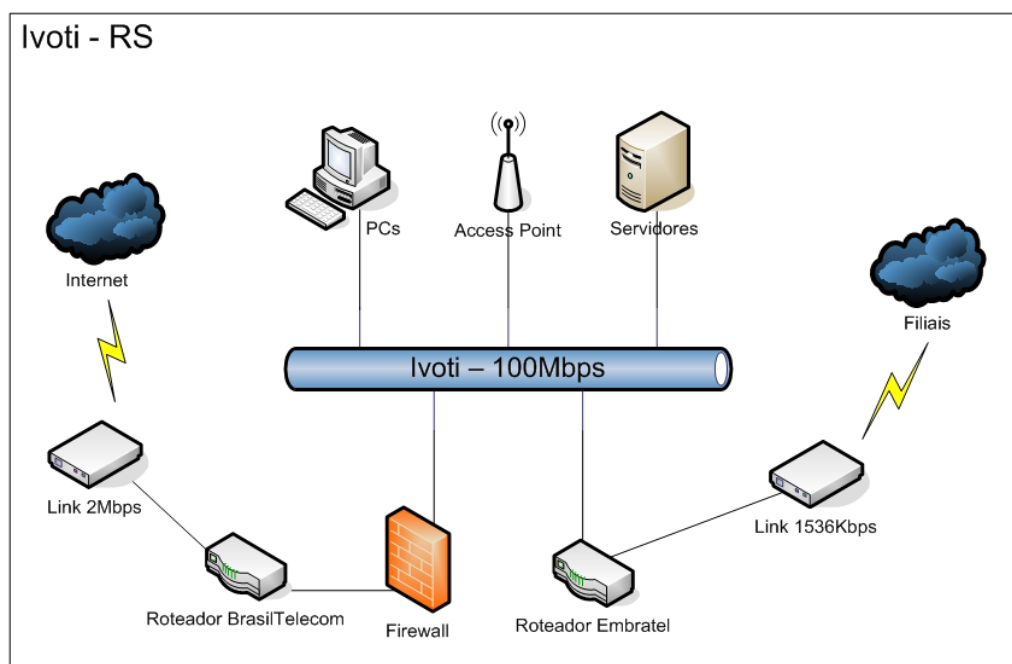


Figura 8.1 – Estrutura básica da rede de dados de Ivoti – RS

Essa localidade conta também com um link de Internet da Embratel de 1Mbps, porém o uso é exclusivo para a realização de conexão através de VPN com o sistema de um cliente do exterior, não estando esse link conectado diretamente a rede de dados de Ivoti.

A estrutura dessa localidade é ampla e conta com uma central telefônica Siemens HiPath 3750. Esse equipamento é próprio, sendo a mantenedora do PABX a própria fabricante, ou seja, a Siemens.

O PABX atualmente possui fisicamente:

- 10 placas de 24 ramais analógicos cada.
- 2 placas de 16 ramais analógicos cada.
- 1 placa de 8 ramais analógicos.
- 1 placa de 8 ramais digitais.
- 1 placa de 16 ramais sem-fio (*Cordless*) – cobrindo toda a área construída da empresa.

- 2 placas de 8 troncos analógicos cada.
- 2 placas E1.
- 1 placa de 8 canais para serviços como correio de voz, auto-atendimento e fax por e-mail.
- 4 mesas de atendimento (telefonista).

As características suportadas e utilizadas pela empresa atualmente são:

- Auto-atendedor.
- Aviso de chamada em espera.
- Bloqueio/desbloqueio de ramal por senha.
- Captura de chamadas.
- Chamada direta (DDR – Discagem Direta a Ramal).
- Desvio de chamadas.
- Conferência.
- Identificador de chamadas (os ramaís analógicos não suportam essa característica).
- Intercalação de chamadas (para atendimento de mais de uma chamada).
- Fax por e-mail.
- Grupos de atendimento.
- Lista telefônica central.
- Música em espera.
- Rechamada interna automática, caso um ramal esteja ocupado.
- Serviço noturno/diurno.

- Suporte ao idioma português.
- Tarificação de ligações.
- Transferência de chamadas.

Estão em uso no PABX aproximadamente 190 ramais, com a numeração podendo ir do 8200 até o 8499. Para conexão com a RTPC o equipamento possui 30 linhas com a BrasilTelecom, com 200 números para DDR, com a numeração indo do (51) 3563-8200 ao (51) 3563-8399, 14 linhas com a Embratel, com 50 números para DDR, com a numeração indo do (51) 2123-8200 ao (51) 2123-8249, outras quatro linhas ligadas a celulares da Vivo e uma ligada a um celular da TIM. Quatro linhas são utilizadas para a realização de chamadas ramal-a-ramal para as demais unidades da empresa, estas linhas estão conectadas ao roteador da Embratel.

8.1.1.1 Necessidades

A estrutura dessa localidade é bastante completa, as únicas necessidades são:

- Permitir maior mobilidade aos executivos, que estão freqüentemente em viagens pelo Brasil e exterior, onde utilizam aparelhos celulares para comunicação, mesmo quando possuem acesso à Internet.
- Possuir maior número de linhas para a realização de ligações com as demais unidades da empresa.
- Reduzir os custos de telefonia, principalmente com ligações DDD e DDI.

8.1.2 São Paulo – SP

A rede de dados de São Paulo opera a uma velocidade de 100Mbps, possuindo dois *Access Point* de 54Mbps cada, cobrindo toda a área dessa localidade. Essa unidade está conectada a Ivoti por um *link* da Embratel de 384Kbps e também possui um *link* da BrasilTelecom de 1Mbps, utilizado para conexão com à Internet.

A Figura 8.2 ilustra a estrutura básica de rede de dados da localidade de São Paulo.

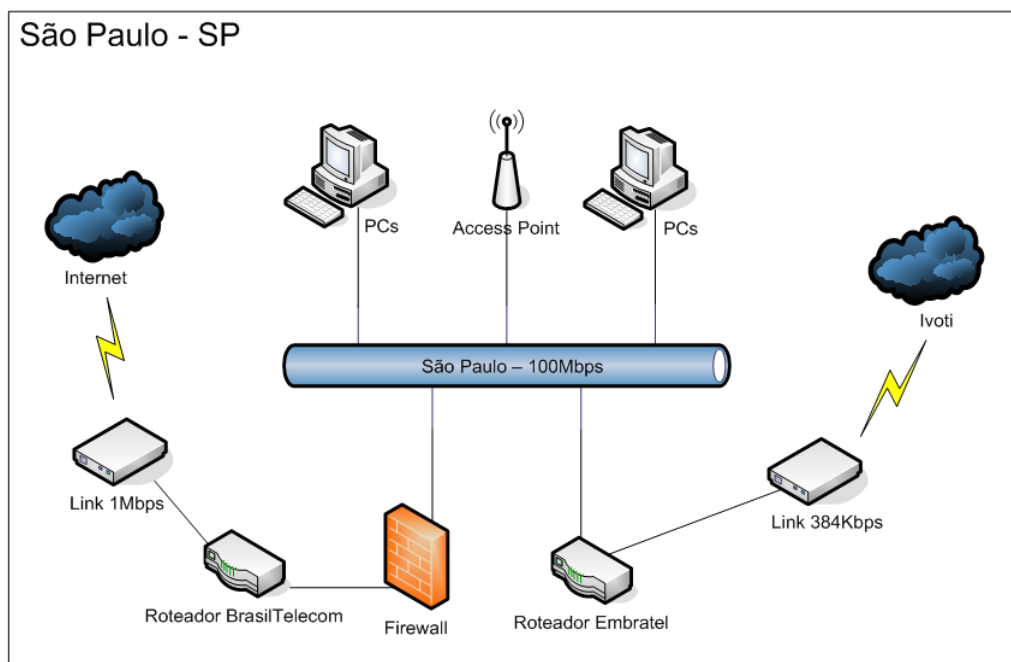


Figura 8.2 - Estrutura básica da rede de dados de São Paulo – SP

A estrutura dessa localidade conta com uma central telefônica Siemens HiPath 1190. Esse equipamento é próprio, sendo a mantenedora do PABX uma empresa terceirizada de São Paulo.

O PABX atualmente possui fisicamente:

- 4 placas de 16 ramais analógicos cada.
- 1 placa de 4 ramais digitais.
- 1 placas de 8 troncos analógicos.
- 1 placa E1.
- 1 mesa de atendimento (telefonista).

As características suportadas e utilizadas pela empresa atualmente são:

- Auto-atendedor.
- Aviso de chamada em espera.
- Bloqueio/desbloqueio de ramal por senha.

- Captura de chamadas.
- Chamada direta (DDR).
- Desvio de chamadas.
- Conferência.
- Identificador de chamadas (os ramais analógicos não suportam essa característica).
- Intercalação de chamadas (para atendimento de mais de uma chamada).
- Grupos de atendimento.
- Lista telefônica central.
- Música em espera.
- Rechamada interna automática caso um ramal esteja ocupado.
- Serviço noturno/diurno.
- Suporte ao idioma português.
- Transferência de chamadas.

Estão em uso no PABX aproximadamente 60 ramais, com a numeração podendo ir do 1660 até 1805. Para conexão com a RTPC o equipamento possui 15 linhas com a Telefonica, com 40 números para DDR, com a numeração indo do (11) 3818-1660 ao (11) 3818-1699. Quatro linhas (trancos) estão conectadas a celulares da TIM. Uma linha é utilizada para a realização de chamadas ramal-a-ramal para as demais unidades da empresa, esta linha esta conectada ao roteador da Embratel.

8.1.2.1 Necessidades

A estrutura dessa localidade é bastante completa, as únicas necessidades são:

- Permitir maior mobilidade aos executivos, que estão freqüentemente em viagens pelo Brasil e exterior, onde utilizam aparelhos celulares comunicação, mesmo quando possuem acesso à Internet.
- Possuir maior número de linhas para a realização de ligações com as demais unidades da empresa.
- Reduzir os custos de telefonia, principalmente com ligações DDD e DDI. Por concentrar toda a área comercial da empresa, essa localidade possui a necessidade de manter contato constante com representantes comerciais e clientes, o que gera um grande volume de ligações e um alto custo financeiro.

8.1.3 Santo Estevão - BA

A rede de dados de Santo Estevão opera a uma velocidade de 100Mbps, possuindo um *Access Point* de 54Mbps, cobrindo toda a área administrativa dessa localidade. Essa unidade está conectada a Ivoti por um *link* da Embratel de 384Kbps.

A Figura 8.3 ilustra a estrutura básica de rede de dados da localidade de Santo Estevão, na Bahia.

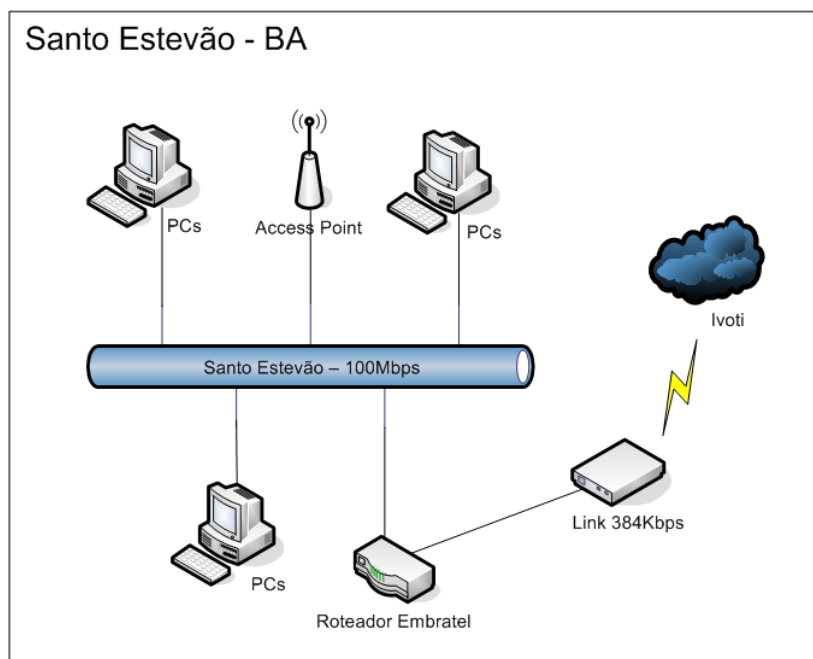


Figura 8.3 - Estrutura básica da rede de dados de Santo Estevão – BA

A estrutura dessa localidade conta com uma central telefônica Siemens HiPath 3550. Esse equipamento é próprio, sendo a mantenedora do PABX a própria fabricante, ou seja, a Siemens.

O PABX atualmente possui fisicamente:

- 4 placas de 16 ramais analógicos cada.
- 1 placa de 4 ramais digitais.
- 1 placa de 20 ramais sem-fio (*Cordless*) - cobrindo toda área construída da empresa.
- 1 placa de 8 troncos analógicos.
- 1 mesa de atendimento (telefonista).

As características suportadas e utilizadas pela empresa atualmente são:

- Aviso de chamada em espera.
- Bloqueio/desbloqueio de ramal por senha.
- Captura de chamadas.
- Desvio de chamadas.
- Conferência.
- Identificador de chamadas (os ramais analógicos não suportam essa característica).
- Intercalação de chamadas (para atendimento de mais de uma chamada).
- Grupos de atendimento.
- Lista telefônica central.
- Rechamada interna automática caso um ramal esteja ocupado.
- Serviço noturno/diurno.

- Suporte ao idioma português.
- Tarificação de ligações.
- Transferência de chamadas.

Estão em uso no PABX 80 ramais, com a numeração podendo ir do 1200 até o 1299. Para conexão com a RTPC o equipamento possui 6 linhas (trancos) com a Telemar. Uma linha é utilizada para a realização de chamadas ramal-a-ramal para as demais unidades da empresa, estas linhas estão conectadas ao roteador da Embratel.

8.1.3.1 Necessidades

A estrutura dessa localidade é bastante simples, e as necessidades existentes são:

- Possuir um sistema de auto-atendimento, reduzindo o volume de ligações atendidas pela telefonista.
- Possuir música em espera.
- Possuir maior número de linhas para a realização de ligações com as demais unidades da empresa.
- Reduzir os custos de telefonia, principalmente com ligações DDD e DDI.
- Ampliação do número de ramais.
- Existe uma limitação quanto aos ramais sem-fio. O sistema foi licenciado de forma a suportar apenas duas chamadas simultâneas por antena. No caso existem quatro antenas espalhadas pela localidade, dando cobertura total a área construída, porém existe certa concentração desses ramais na área administrativa, limitados ao uso de dois aparelhos simultaneamente.
- A empresa conta com apenas seis linhas para efetuar e receber ligações da RTPC, o que em determinados momentos ocasiona um congestionamento de ligações.

8.1.4 Vitória da Conquista - BA

A rede de dados de Vitória da Conquista opera a uma velocidade de 100Mbps. Essa unidade está conectada a Ivoti por um *link* da Embratel de 384Kbps.

A Figura 8.4 ilustra a estrutura básica de rede de dados da localidade de Vitória da Conquista, na Bahia.

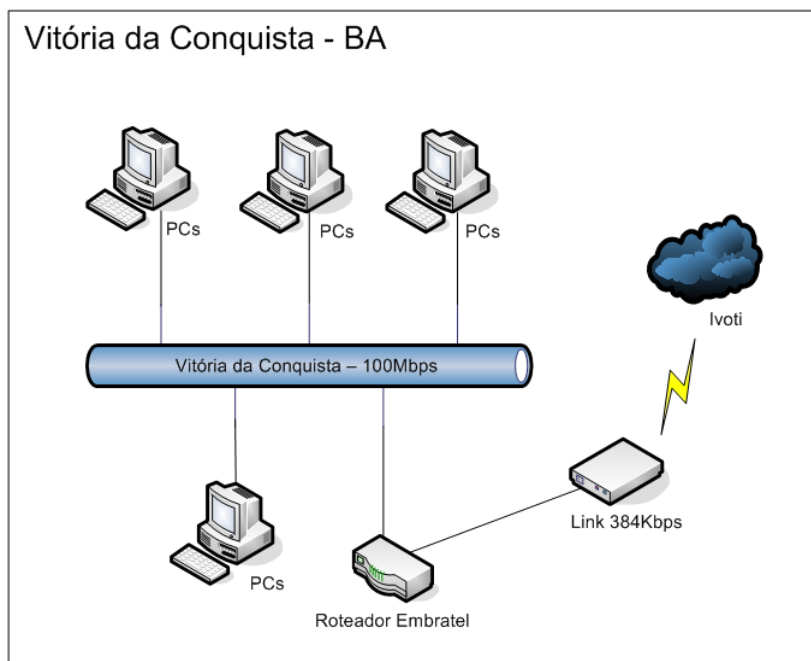


Figura 8.4 - Estrutura básica da rede de dados de Vitória da Conquista – BA

A estrutura dessa localidade conta com uma central telefônica Siemens HiPath 3550. Esse equipamento é próprio, sendo a mantenedora do PABX a própria fabricante, ou seja, a Siemens.

O PABX atualmente possui fisicamente:

- 3 placas de 16 ramais analógicos cada.
- 1 placa de 4 ramais digitais.
- 1 placa de 8 troncos analógicos.
- 1 mesa de atendimento (telefonista).

As características suportadas e utilizadas pela empresa atualmente são:

- Aviso de chamada em espera.

- Bloqueio/desbloqueio de ramal por senha.
- Captura de chamadas.
- Desvio de chamadas.
- Conferência.
- Identificador de chamadas (os ramais analógicos não suportam essa característica).
- Intercalação de chamadas (para atendimento de mais de uma chamada).
- Grupos de atendimento.
- Lista telefônica central.
- Rechamada interna automática caso um ramal esteja ocupado.
- Serviço noturno/diurno.
- Suporte ao idioma português.
- Tarificação de ligações.
- Transferência de chamadas.

Estão em uso no PABX 52 ramais, com a numeração podendo ir do 7200 até o 7299. Para conexão com a RTPC o equipamento possui 5 linhas (troncos) com a Telemar. Uma linha é utilizada para a realização de chamadas ramal-a-ramal para as demais unidades da empresa, estas linhas estão conectadas ao roteador da Embratel.

8.1.4.1 Necessidades

A estrutura dessa localidade é bastante simples, e as necessidades existentes são:

- Possuir um sistema de auto-atendimento, reduzindo o volume de ligações atendidas pela telefonista.
- Possuir música em espera.

- Possuir maior número de linhas para a realização de ligações com as demais unidades da empresa.
- Reduzir os custos de telefonia, principalmente com ligações DDD e DDI.
- Ampliação do número de ramais.
- Possuir um sistema de ramais sem-fio com cobertura total da área da construída da localidade.
- A empresa conta com apenas cinco linhas para efetuar e receber ligações da RTPC, o que em determinados momentos ocasiona um congestionamento de ligações.

8.1.5 Itapipoca – CE

A rede de dados de Itapipoca opera a uma velocidade de 100Mbps. Essa unidade está conectada a Ivoti por um *link* da Embratel de 384Kbps.

A Figura 8.5 ilustra a estrutura básica de rede de dados da localidade de Itapipoca, no Ceará.

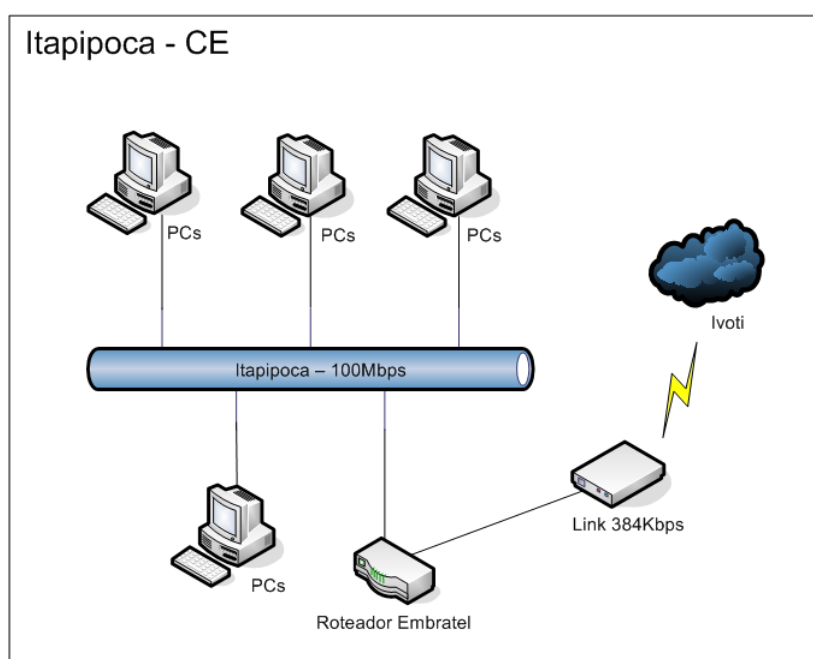


Figura 8.5 – Estrutura básica da rede de dados de Itapipoca – CE

A estrutura dessa localidade conta com uma central telefônica Siemens HiPath 3550. Esse equipamento é próprio, sendo a mantenedora do PABX a própria fabricante, ou seja, a Siemens.

O PABX atualmente possui fisicamente:

- 1 placa de 16 ramais analógicos.
- 1 placa de 8 ramais analógicos.
- 1 placa de 4 ramais analógicos.
- 1 placa de 4 ramais digitais.
- 1 placa de 8 troncos analógicos.
- 1 mesa de atendimento (telefonista).

As características suportadas e utilizadas pela empresa atualmente são:

- Aviso de chamada em espera.
- Bloqueio/desbloqueio de ramal por senha.
- Captura de chamadas.
- Desvio de chamadas.
- Conferência.
- Identificador de chamadas (os ramais analógicos não suportam essa característica).
- Intercalação de chamadas (para atendimento de mais de uma chamada).
- Grupos de atendimento.
- Lista telefônica central.
- Rechamada interna automática caso um ramal esteja ocupado.

- Serviço noturno/diurno.
- Suporte ao idioma português.
- Tarificação de ligações.
- Transferência de chamadas.

Estão em uso no PABX 32 ramais, com a numeração podendo ir do 2200 até o 2299. Para conexão com a RTPC o equipamento possui 5 linhas (trancos) com a Telemar. Uma linha é utilizada para a realização de chamadas ramal-a-ramal para as demais unidades da empresa, estas linhas estão conectadas ao roteador da Embratel.

8.1.5.1 Necessidades

A estrutura dessa localidade é bastante simples, e as necessidades existentes são:

- Possuir um sistema de auto-atendimento, reduzindo o volume de ligações atendidas pela telefonista.
- Possuir música em espera.
- Possuir maior número de linhas para a realização de ligações com as demais unidades da empresa.
- Reduzir os custos de telefonia, principalmente com ligações DDD e DDI.
- Ampliação do número de ramais.
- Possuir um sistema de ramais sem-fio com cobertura total da área construída da localidade.
- A empresa conta com apenas cinco linhas para efetuar e receber ligações da RTPC, o que em determinados momentos ocasiona um congestionamento de ligações.

A Tabela 8.1 apresenta resumidamente a estrutura de telefonia de todas as localidades e os recursos atualmente disponíveis.

Tabela 8.1 – Comparação da estrutura de telefonia das localidades

Localidade / Recursos	Ivoti	São Paulo	Santo Estevão	Vitória da Conquista	Itapipoca
Fabricante do PABX	Siemens	Siemens	Siemens	Siemens	Siemens
Modelo do PABX	Hipath 3750	Hipath 1190	Hipath 3550	Hipath 3550	Hipath 3550
Ramas disponíveis	304	68	88	52	32
Ramais em uso	190	60	80	52	32
Linhas digitais	44	15	0	0	0
Linhas analógicas	5	4	5	5	5
Linhas de interligação	4	1	1	1	1
Numeração de ramais	8200-8499	1660-1805	1200-1299	2200-2299	7200-7299
Auto-atendedor	✓	✓			
Aviso de chamada em espera	✓	✓	✓	✓	✓
Bloqueio de ramal por senha	✓	✓	✓	✓	✓
Captura de chamadas	✓	✓	✓	✓	✓
DDR	✓	✓			
Desvio de chamadas	✓	✓	✓	✓	✓
Conferência	✓	✓	✓	✓	✓
Identificador de chamadas	✓	✓	✓	✓	✓
Intercalação de chamadas	✓	✓	✓	✓	✓
Fax por e-mail	✓				
Grupos de atendimento	✓	✓	✓	✓	✓
Lista telefônica central	✓	✓	✓	✓	✓
Música em espera	✓	✓	✓	✓	✓
Ramais móveis	✓	✓			
Rechamada interna automática	✓	✓	✓	✓	✓
Serviço noturno/diurno	✓	✓	✓	✓	✓
Idioma português	✓	✓	✓	✓	✓
Tarifação de ligações	✓	✓	✓	✓	✓
Transferência de chamadas	✓	✓	✓	✓	✓

8.2 Proposta de Implementação

Essa etapa visa sugerir uma forma para se implantar a tecnologia VoIP na estrutura levantada através da implementação de central telefônica VoIP, utilizando, dentro do possível, os recursos já existentes, permitindo dessa forma agregar os benefícios oferecidos pela tecnologia VoIP com o menor nível possível de investimentos na aquisição de produtos e serviços.

Como as centrais telefônicas convencionais existentes em todas as unidades da empresa são próprias e possuem um bom nível de confiança e de aceitação pelos usuários, não haveria motivos que levassem a uma completa migração para as centrais telefônicas VoIP de imediato. Com a possibilidade de integração de ambas as tecnologias, através do aproveitamento de todos os benefícios e vantagens que cada uma delas oferece, pode-se evitar um possível impacto negativo pela mudança de tecnologia, pois normalmente um usuário não assimila imediatamente uma mudança brusca em sua rotina diária.

Ainda pelo fato de se manter a atual estrutura de telefonia na empresa analisada, agregando-se a esta a tecnologia VoIP, a proposta apresentada neste trabalho de conclusão pode ser facilmente adaptada a estrutura existente em outras instituições. Desta forma, é possível que estas instituições também usufruam das principais funcionalidades e vantagens oferecidas pela adoção dessa tecnologia.

Mesmo com a utilização de *software* livre, é praticamente impossível fugir da necessidade de se investir em *hardware*, porém essa necessidade pode variar conforme a aplicação específica que cada central telefônica VoIP possui. Alguns fatores, como a quantidade de usuários e os recursos que estes possuem disponíveis no sistema, são decisivos na determinação de uma configuração de *hardware* ideal que possa garantir um desempenho satisfatório do ponto de vista dos usuários.

8.2.1 Nova Estrutura

A nova estrutura de telefonia é composta pela estrutura existente nas unidades da empresa, pela instalação de uma central telefônica VoIP integrada com essa estrutura existente em cada unidade e pela interligação de todas as centrais telefônicas das unidades.

Com a instalação das centrais telefônicas VoIP e para um correto roteamento das chamadas, foi necessária criação de um novo plano de numeração interno, que ficou definido conforme a Tabela 8.2.

Tabela 8.2 – Novo plano de numeração

Localidade	Ramais	
	<i>Central Telefônica Convencional</i>	<i>Central Telefônica VoIP</i>
<i>Ivoti</i>	8[200-499]	8[500-699]
<i>São Paulo</i>	1[600-799]	1[800-999]
<i>Vitória da Conquista</i>	7[200-299]	7[300-399]
<i>Santo Estevão</i>	1[200-299]	1[300-399]
<i>Itapipoca</i>	2[200-299]	2[300-399]

Através de um plano de numeração bem definido, é possível que tanto as centrais telefônicas convencionais como as centrais telefônicas VoIP sejam configuradas para direcionarem suas chamadas automaticamente para qualquer local de destino através da digitação do número do ramal que se deseja chamar, não importando de onde se tenha originado a ligação. Essa facilidade pode não ser suportada por alguns modelos de centrais telefônicas convencionais mais antigas ou mais simples.

Na sequência é apresentada a nova estrutura das unidades, os requisitos de *hardware* e *software* e a forma como ocorre a interligação entre todas as unidades.

8.2.1.1 Ivoti

Como a localidade de Ivoti já apresentava uma estrutura bastante ampla, a nova estrutura de telefonia proposta consiste na manutenção da estrutura existente e na instalação e configuração de uma central telefônica VoIP, bem como na integração desta com a central telefônica convencional.

Os seguintes componentes de *hardware* e *software* fazem parte da nova estrutura de telefonia proposta para essa unidade:

- *Software:*
 1. Sistema Operacional Linux CentOS 5 com kernel 2.6.18-8.1.15.el5;
 2. *Software* Asterisk versão 1.4;
 3. *Softphone* (X-lite ou outro).
- *Hardware:*
 1. Microcomputador padrão IBM-PC com processador de duplo núcleo (AMD ou Intel), 2GB de memória RAM, HD SATA de 160GB e placa mãe de alto desempenho.
 2. *Gateway* de voz com quatro portas FXS e quatro portas FXO.
 3. Terminais IP.

Essa nova estrutura foi projetada para suportar sobre sua central telefônica VoIP aproximadamente 80 usuários internos e externos conectados a extensões SIP, 1 *gateway* de voz conectado a 10 extensões SIP, as 4 centrais VoIP das demais unidades da empresa conectadas a 1 extensão IAX2 cada, 4 linhas SIP conectadas a um ou mais provedores VoIP (Vono, Tellfree ou outro), 4 linhas IAX2 conectadas as centrais telefônicas VoIP das outras unidades.

A Figura 8.6 ilustra a nova estrutura da localidade de Ivoti-RS.

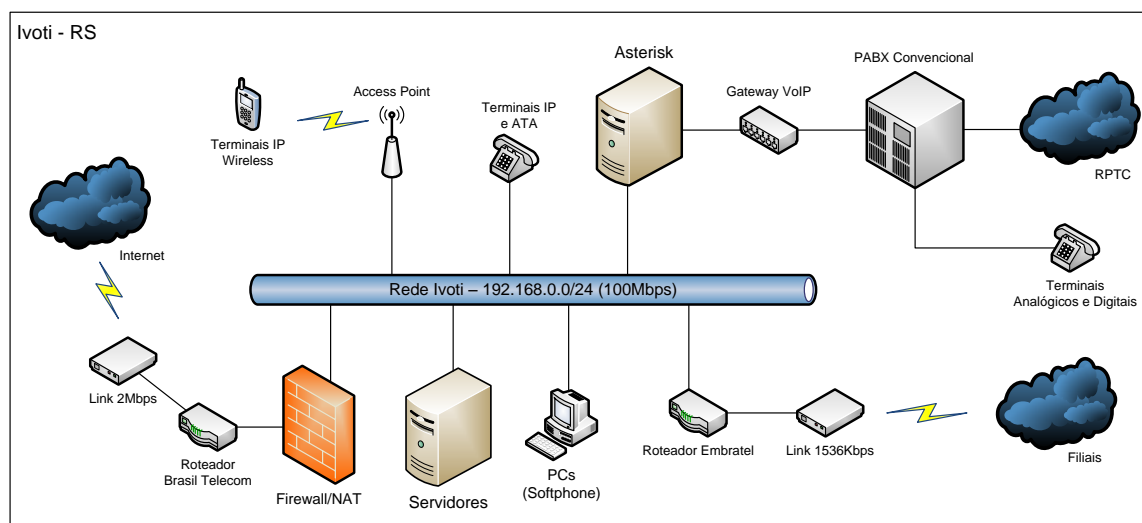


Figura 8.6 – Estrutura proposta para Ivoti-RS

Com base na estrutura apresentada na Figura 8.6, as 80 extensões SIP podem receber conexões através da rede local ou do link de Internet de 2Mbps da Brasil Telecom. As conexões recebidas e realizadas com as demais unidades, assim como as conexões para o provedor VoIP ocorrem somente através do link de Internet de 2Mbps.

O *gateway* de voz é responsável por integrar a central telefônica convencional com a central telefônica VoIP, possuindo 4 portas FXS conectadas a linhas e 4 portas FXO conectadas a ramais.

8.2.1.2 São Paulo

Como a localidade de São Paulo já apresentava uma estrutura bastante completa, a nova estrutura de telefonia proposta consiste na manutenção da estrutura existente e na instalação e configuração de uma central telefônica VoIP, bem como na integração desta com a central telefônica convencional.

Os seguintes componentes de *hardware* e *software* fazem parte da nova estrutura de telefonia proposta para essa unidade:

- *Software*:
 1. Sistema Operacional Linux CentOS 5 com kernel 2.6.18-8.1.15.el5;
 2. *Software* Asterisk versão 1.4;

3. *Softphone* (X-lite ou outro).

- *Hardware:*

1. Microcomputador padrão IBM-PC com processador de duplo núcleo (AMD ou Intel), 2GB de memória RAM, HD SATA de 160GB e placa mãe de alto desempenho.
2. *Gateway* de voz com quatro portas FXS e quatro portas FXO.
3. Terminais IP.

Essa nova estrutura foi projetada para suportar sobre sua central telefônica VoIP aproximadamente 100 usuários internos e externos conectados a extensões SIP, 1 *gateway* de voz conectado a 10 extensões SIP, as 4 centrais VoIP das demais unidades da empresa conectadas a 1 extensão IAX2 cada, 8 linhas SIP conectadas a um ou mais provedores VoIP (Vono, Tellfree ou outro), 4 linhas IAX2 conectadas as centrais telefônicas VoIP das outras unidades.

A Figura 8.7 ilustra a nova estrutura da localidade de São Paulo-SP.

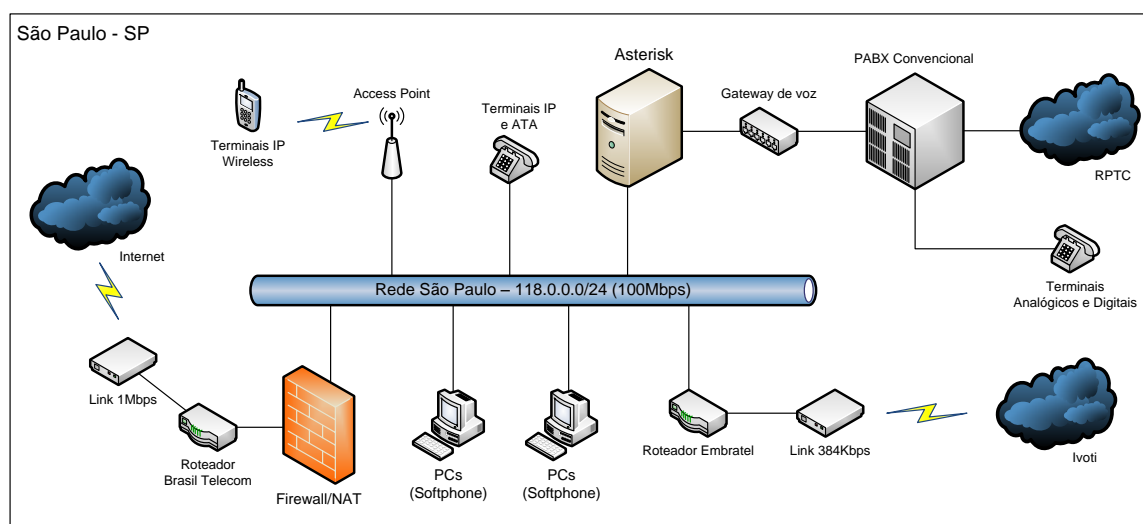


Figura 8.7 – Estrutura proposta para São Paulo-SP

Com base na estrutura apresentada na Figura 8.7, as 100 extensões SIP podem receber conexões através da rede local ou do link de Internet de 1Mbps da Brasil Telecom. As conexões recebidas e realizadas com as demais unidades, assim como as conexões para o provedor VoIP, ocorrem somente através do link de Internet de 1Mbps da Brasil Telecom.

Essa grande quantidade de extensões SIP também se deve ao fato dessa unidade concentrar toda a área comercial da empresa, mantendo contato constante com representantes e clientes. O número de linhas SIP conectadas a provedores VoIP também é maior por esse mesmo motivo.

O *gateway* de voz é responsável por integrar a central convencional com a central telefônica VoIP, possuindo 4 portas FXS conectadas a linhas e 4 portas FXO conectadas a ramais.

Como a central telefônica convencional não possuía linhas (trancos) suficientes na central para suportar 4 linhas conectadas ao *gateway*, foi necessário desativar a linha conectada ao roteador da Embratel.

8.2.1.3 Santo Estevão, Itapipoca e Vitória da Conquista

Conforme já demonstrado, as unidades de Santo Estevão, Itapipoca e Vitória da Conquista apresentavam estruturas simples e semelhantes entre si, com diversas necessidades, e que geravam transtornos tanto para os usuários locais como para quem realizava chamadas da RPTC para essas localidades. Portanto, a solução adotada para implementação da central telefônica VoIP é a mesma para todas estas unidades.

Com a utilização da central telefônica VoIP nessas localidades é possível a ampliação do número de linhas para a realização e recebimento de chamadas com a RPTC, a ampliação do número de ramais, a interligação da unidade com as demais unidades da empresa, além de agregar outros serviços, como o auto-atendimento.

Os seguintes componentes de *hardware* e *software* fazem parte da nova estrutura de telefonia proposta para cada unidade:

- *Software*:
 1. Sistema Operacional Linux CentOS 5 com kernel 2.6.18-8.1.15.el5;
 2. *Software* Asterisk versão 1.4;
 3. *Softphone* (X-lite ou outro).
- *Hardware*:

1. Microcomputador padrão IBM-PC com processador de duplo núcleo (AMD ou Intel), 2GB de memória RAM, HD SATA de 160GB e placa mãe de alto desempenho.
2. *Gateway* de voz com quatro portas FXS e quatro portas FXO.
3. Terminais IP.
4. Seis Access Point Wireless.

Essa nova estrutura foi projetada para suportar sobre a central telefônica VoIP de cada unidade aproximadamente 50 usuários internos conectados a extensões SIP, 1 *gateway* de voz conectado a 10 extensões SIP, as 4 centrais VoIP das demais unidades da empresa conectadas a 1 extensão IAX2 cada, 8 linhas SIP conectadas a um ou mais provedores VoIP (Vono, Tellfree ou outro), 4 linhas IAX2 conectadas as centrais telefônicas VoIP das outras unidades.

Além do *hardware* e *software* já citados, se faz necessária também a contratação de um link de Internet dedicado de pelo menos 512Kbps de velocidade para cada localidade, a fim de permitir a conexão com provedores VoIP, conexões a partir da Internet e a interligação entre as unidades da empresa, de forma a não sobrecarregar o link existente de 384Kbps da Embratel.

A Figura 8.8 ilustra a nova estrutura para cada unidade do Nordeste.

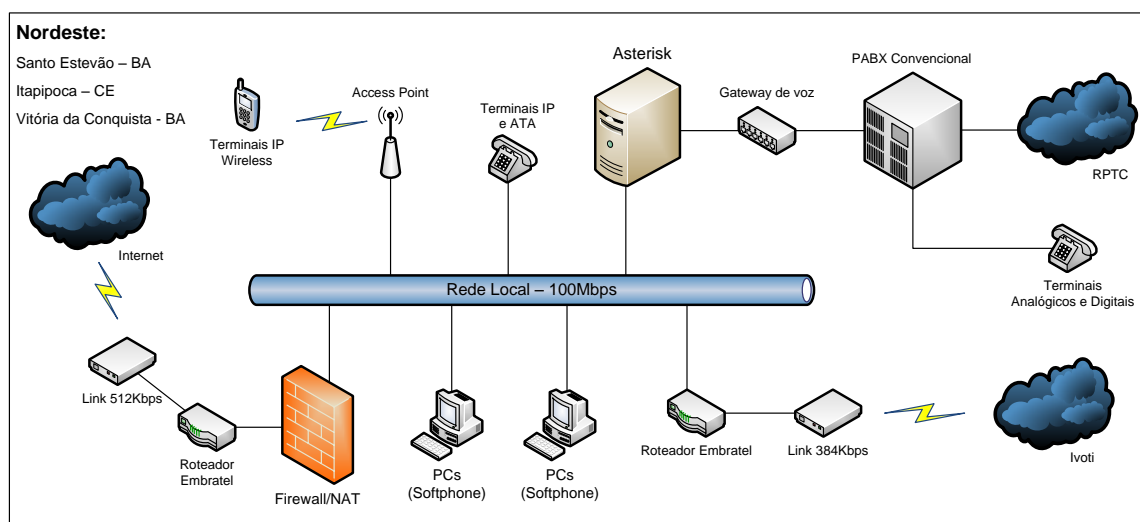


Figura 8.8 – Estrutura proposta para as unidades do Nordeste

Com base na estrutura apresentada na Figura 8.8, as 50 extensões SIP podem receber conexões através da rede local ou do link de Internet de 512Kbps da Embratel. As conexões recebidas e realizadas com as demais unidades, assim como as realizadas para o provedor VoIP externo, também ocorrem através do link de Internet, desta forma, evita-se uma sobrecarga sobre o link da Embratel de 384Kbps, que permanece destinado exclusivamente a conexão aos sistemas corporativos.

O *gateway* de voz é responsável por integrar a central convencional com a central telefônica VoIP, possuindo 4 portas FXS conectadas a linhas e 4 portas FXO conectadas a ramais.

Nessa nova estrutura, com a utilização da central telefônica VoIP, ocorre uma redução de linhas da operadora Telemar conectadas ao PABX convencional, onde o número é reduzido para 4 linhas e sua utilização passa a ser principalmente para a realização de chamadas locais, ou até para localidades onde as tarifas são menores que as cobradas pelas operadoras VoIP.

Este capítulo apresentou uma proposta de implementação de central telefônica VoIP em um ambiente corporativo. O próximo capítulo aborda a implementação de um ambiente de testes para avaliar o funcionamento das centrais telefônicas VoIP.

9 IMPLEMENTAÇÃO DE UM AMBIENTE DE TESTES

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de um ambiente, para a realização de testes, que permita avaliar as centrais telefônicas VoIP e suas funcionalidades. O ambiente foi criado com base na proposta apresentada no capítulo anterior, tendo como referência a estrutura de duas unidades.

As unidades escolhidas para a criação deste ambiente foram as de Ivoti, no Rio Grande do Sul, e de Santo Estevão, na Bahia. Essas unidades foram escolhidas por permitirem, através da realização dos testes, uma avaliação sobre todas as funcionalidades previstas nas estruturas apresentadas no capítulo anterior.

9.1 Hardware e Software utilizados

Para o desenvolvimento do ambiente proposto e para a realização dos testes, foi necessária a utilização de alguns *softwares* adicionais, além do já abordado Asterisk. Também foi necessária a escolha e a especificação do *hardware* e da estrutura utilizada.

Para a realização dos testes foram utilizados os seguintes *softwares*:

- *X-lite versão 3.0 - Softphone* desenvolvido pela CounterPath Solutions Inc., utilizado na comunicação entre clientes SIP e que possui todas as funcionalidades de um telefone comum.
- *Aplicativo PESQ* – Aplicativo que implementa a recomendação P.862 e que foi utilizado para a avaliação da qualidade de voz. Foi necessária a compilação do código fonte que acompanham a documentação PESQ.

- *Wireshark versão 0.99*– Ferramenta utilizada para a captura de pacotes. Sua funcionalidade neste trabalho é a captura de pacotes RTP e extração do áudio para posterior análise da qualidade de voz.
- *Audacity versão 1.2.6* - Utilizado para a reprodução dos arquivos de voz que acompanham a recomendação PESQ e para a conversão dos arquivos de áudio gerados pelo *software Wireshark* para o formato *wave*.

O *hardware* utilizado foi composto por:

- Servidor A: Microcomputador padrão IBM-PC, processador AMD Athlon XP 2400+, 1GB de RAM, HD 80GB IDE Samsung, placa de rede 3Com 100Mbps, placa-mãe Asus;
- Servidor B: Microcomputador padrão IBM-PC, processador Intel Pentium 4 HT 3.0 GHz, 1GB de RAM, HD 80GB SATA Samsung, placa de rede onboard Intel PRO/100 VE 100Mbps, placa de rede 3Com 100Mbps e placa-mãe Gigabyte.
- Cliente A: Microcomputador padrão IBM-PC, processador Intel Pentium 4 HT 3.0 GHz, 1GB de RAM, HD 80GB IDE Samsung, placa de rede onboard Intel PRO/100 VE 100Mbps, placa-mãe Gigabyte;
- Cliente B: Microcomputador padrão IBM-PC, processador Intel Pentium 4 2.8 GHz, 1GB de RAM, HD 80GB SATA Samsung, placa de rede onboard Intel PRO/100 VE 100Mbps, placa-mãe Gigabyte;
- *Gateway* de voz Taitell modelo TT422-SO com duas portas FXS e duas portas FXO;
- Switch 3Com 100Mbps de 24 portas;
- Estrutura de rede de dados de Ivoti;
- PABX convencional de Ivoti.

9.2 Preparação do ambiente

Para facilitar a distinção dos equipamentos e da localidade, os servidores foram identificados com as letras A ou B, sendo que o Servidor A pertence a localidade de Ivoti, enquanto que o Servidor B pertence a localidade de Santo Estevão.

O mesmo não ocorre com os clientes, visto que alguns testes foram realizados dentro de uma mesma localidade, utilizando-se para isso, por exemplo, tanto o Cliente A como o Cliente B dentro da localidade de Ivoti.

Os Servidores A e B receberam a instalação do sistema operacional Linux CentOS 5, kernel 2.6.18-8.1.15.el5 e do *software* Asterisk versão 1.4, enquanto que os Clientes A e B receberam a instalação do sistema operacional Windows XP Professional *Service Pack* 2, do *softphone* X-lite e do *sniffer* WireShark.

O Servidor A e o *gateway* de voz foram conectados diretamente na rede local da estrutura existente em Ivoti. O meio utilizado para realizar e receber conexões externas foi o *link* de Internet da Brasil Telecom de 2Mbps. O *gateway* de voz ainda foi conectado fisicamente a dois ramais e a dois troncos do PABX de Ivoti.

No ambiente de testes criado, somente o Servidor A estava integrado com o PABX da localidade de Ivoti através do *gateway* de voz.

A estrutura que representou a localidade de Santo Estevão foi especialmente desenvolvida para a realização dos testes. Para isso, o Servidor B teve a interface correspondente a placa de rede Intel PRO/100 VE 100Mbps conectada ao *switch* 3Com, enquanto que a interface correspondente a placa de rede 3Com 100Mbps foi conectada ao link de Internet de 1Mbps da Embratel.

Para esta localidade, as conexões internas foram realizadas através de clientes conectados ao *switch* 3Com, enquanto que as externas foram através de link de Internet de 1Mbps da Embratel. Foi necessária a ativação do roteamento no Servidor B e a sua utilização como *gateway* de rede, permitindo assim que os clientes que foram conectados ao *switch* tivessem acesso à Internet.

A Figura 9.1 ilustra a topologia de rede criada e utilizada no ambiente de testes. O Cliente B está presente nas duas localidades, pois em alguns testes foi utilizado na localidade de Ivoti-RS e em outros na localidade que representa Santo Estevão-BA.

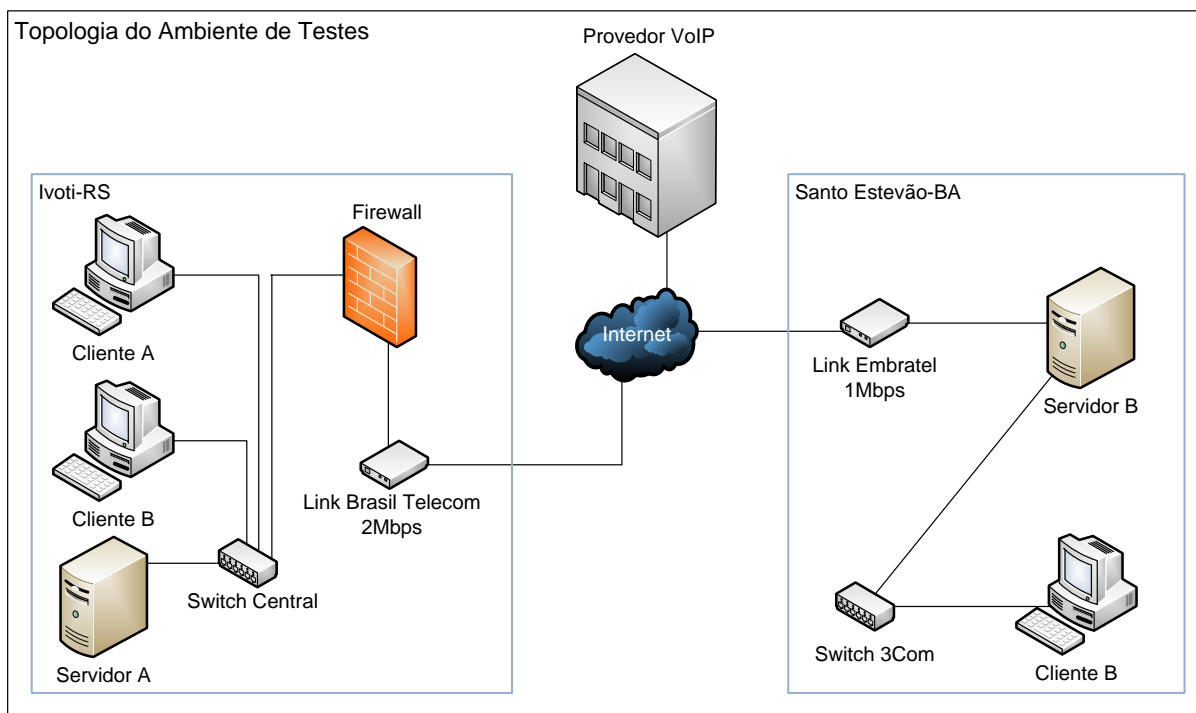


Figura 9.1 – Topologia de rede utilizada no ambiente de testes

9.3 Instalação da central telefônica VoIP

A instalação do *software* Asterisk nos dois servidores partiu da instalação do sistema operacional Linux CentOS 5. Posteriormente ocorreu a instalação dos pacotes que compõem o *software* Asterisk.

Os pacotes que são pré-requisitos para a compilação do Asterisk foram obtidos e instalados através da ferramenta de gerenciamento de pacotes *yum*, enquanto que os pacotes do Asterisk foram obtidos diretamente do site da Digium Inc., descompactados, compilados e instalados.

9.4 Configuração do ambiente

Após a definição e montagem da estrutura física e da instalação do sistema base para a utilização da central telefônica Asterisk, foi iniciada a configuração do ambiente de testes, configuração esta que foi dividida da seguinte forma:

- Configuração dos ramais SIP nas centrais VoIP;
- Configuração da interligação dos dois servidores VoIP;
- Configuração da integração entre a central telefônica VoIP e a central telefônica convencional;
- Configuração das linhas com provedor VoIP;
- Configuração da funcionalidade de transferência de chamadas;
- Configuração da funcionalidade de música em espera;
- Configuração da funcionalidade de URA (Unidade de Resposta Audível);
- Configuração da funcionalidade de fila de espera e sinalização simultânea de chamadas;
- Configuração da funcionalidade de correio de voz;
- Configuração da funcionalidade de sala de conferência;
- Configuração do *softphone* X-lite.

É importante salientar, que no desenvolvimento do ambiente de testes criado, são demonstrados os passos necessários para a configuração das centrais VoIP utilizadas, no entanto, nem todas as configurações precisaram ser feitas nos dois servidores.

9.4.1 Configuração dos ramais SIP nas centrais VoIP

O registro dos terminais SIP é realizado a partir do arquivo *sip.conf*. Neste arquivo são definidos os contextos, onde cada contexto representa um novo registro de terminal.

A seguir um exemplo de configuração realizada no Servidor A, da localidade de Ivoti, sobre o arquivo *sip.conf*, onde o contexto do ramal SIP 8501 foi definido.

[8501]	; Contexto do ramal SIP 8501
type=friend	; Tipo definido para o ramal SIP
context=default	; Define um contexto para as chamadas recebidas pelo servidor
username=8501	; Nome do usuário
secret=12345	; Senha do usuário
callerid=Ramal 8501 <8501>	; Identificador de chamadas

host=dynamic	; Endereço IP para endereço IP estático ou dynamic para
	; dinâmico
disallow=all	; Desabilita todos os codecs
allow=gsm	; Habilita os codecs especificados
allow=ulaw	
allow=alaw	

O arquivo responsável pela sinalização, estabelecimento e gerenciamento de chamadas é o *extensions.conf*. O exemplo a seguir mostra a configuração básica realizada no arquivo *extensions.conf* para o ramal SIP 8501, onde apenas é realizada a sinalização de chamada ao número especificado.

[default]	; Contexto padrão
exten => 8501,1,Dial(SIP/8501,30)	; Efetua a sinalização de chamada ao cliente SIP registrado
	; com o contexto 8501
exten => 8501,1,Hangup()	; Encerra a sinalização caso a chamada não seja atendida em
	30 segundos

A criação e configuração dos ramais VoIP foi realizada tanto no Servidor A como no Servidor B.

9.4.2 Configuração da interligação dos dois servidores VoIP

A comunicação entre as centrais Asterisk foi realizada utilizando-se o protocolo IAX2. Para a configuração foram necessárias alterações nos arquivos: *iax.conf* e *extensions.conf*.

Na central telefônica do servidor Asterisk que irá receber a conexão é necessária a criação de uma extensão do tipo IAX2 no arquivo *iax.conf*, enquanto que na central telefônica que origina as chamadas é necessária a criação de um tronco IAX2 e a criação de uma rota de saída.

O exemplo a seguir exibe a configuração realizada no Servidor B, da localidade de Santo Estevão, onde foi necessária a criação de uma extensão do tipo IAX2.

[9901]	; Contexto do ramal AIX2 9901
type=friend	; Tipo definido para o ramal IAX2
secret=12345	
qualify=yes	
port=4569	
notransfer=yes	
host=dynamic	
dial=IAX2/9901	
callerid=Ivoti <9901>	
context=default	

No Servidor A, de Ivoti, no arquivo *iax.conf* é requisitado o registro no Servidor B, conforme exemplo a seguir.

```
register => 9901:12345@189.16.2.132
```

Também é configurado um usuário interno, que de certa forma representa um tronco, e que fica permanentemente conectado a este Servidor B.

[IVtoSS]	; Contexto - Ivoti para Santo Estevão
type=peer	; Tipo de usuário
host=189.16.2.132	; IP do servidor de Santo Estevão
username=9901	; Nome de usuário para autenticação
secret=12345	; Senha para autenticação
qualify=yes	
auth=md5	
dtmfmode=rfc2833	
dynamic=yes	
fromdomain=189.16.2.132	
fromuser=9901	
insecure=very	
nat=yes	
reinvite=no	
disallow=all	
allow=ilbc	
allow=g729	
allow=ulaw	

Já no arquivo *extensions.conf* é invocada a sinalização da chamada de forma a encaminhá-la para a outra central telefônica VoIP através do canal IAX2 criado. Esse procedimento pode ser considerado como sendo a criação de uma rota de saída.

O exemplo a seguir exhibe a configuração de uma rota de saída criada no Servidor A para realizar chamadas aos ramais da central telefônica VoIP de Santo Estevão, cuja numeração ficou definida como sendo de 1300 a 1399.

```
exten => _13xx,1,Dial(IAX2/IVtoSS/${EXTEN})
```

Neste arquivo também seria necessário colocar uma rota de saída para os ramais da central telefônica convencional de Santo Estevão, de forma a encaminhar todas as chamadas destinadas para números entre 1200 e 1299 para a central telefônica VoIP de Santo Estevão e esta, por sua vez, encaminhar para o PABX convencional através do *gateway* de voz.

A configuração da interligação utilizando canais IAX2 foi realizada tanto no Servidor A como no Servidor B.

9.4.3 Configuração da integração entre a central telefônica VoIP e a central telefônica convencional

A integração entre o PABX convencional e a central telefônica VoIP foi realizada através da criação de seis extensões SIP, onde o *gateway* de voz foi configurado para ficar permanentemente conectado a essas extensões.

Para cada porta FXS e FXO existente no *gateway* de voz havia também uma extensão SIP associada. O *gateway* de voz utilizado nos testes permitia ainda que suas portas FXS e FXO fossem agrupadas em duas extensões SIP adicionais, sendo uma extensão para cada tipo de porta.

Esse agrupamento permite, por exemplo, que ao se realizar uma chamada da central telefônica VoIP para um ramal da central convencional, ocorra inicialmente a sinalização dessa chamada para a extensão SIP que representa o agrupamento das portas FXO. Ao receber essa sinalização, o *gateway* de voz identifica uma porta disponível entre as duas FXO existentes, direciona a chamada para a extensão SIP correspondente a ela, e finaliza completando a chamada.

O processo de criação das extensões SIP ocorreu de forma idêntica ao já abordado anteriormente.

O direcionamento das chamadas da central telefônica VoIP para a central convencional ocorreu através da configuração de uma rota de saída, que encaminhava para o *gateway* de voz todas as chamadas realizadas para os números entre 8200 e 8499.

Já o PABX convencional teve alterado o seu plano de discagem, para que direcionasse aos troncos conectados ao *gateway* de voz todas as chamadas realizadas para números entre 8500 e 8699 (central telefônica VoIP de Ivoti), entre 1200 e 1299 (central convencional de Santo Estevão) e entre 1300 e 1399 (central telefônica VoIP de Santo Estevão).

Essas configurações foram realizadas apenas no Servidor A e no PABX de Ivoti, pois para a execução dos testes havia apenas um *gateway* de voz e uma central telefônica convencional disponível.

9.4.4 Configuração das linhas com provedor VoIP

A configuração das linhas com o provedor VoIP na central telefônica VoIP ocorreu através da manipulação dos arquivos *sip.conf* e *extensions.conf*. Essa configuração permitiu tanto receber como realizar chamadas.

No arquivo *sip.conf* foi necessário adicionar uma *string* de registro e também um contexto que representasse um canal para recebimento e realização de chamadas. Nos testes foi utilizado o provedor VoIP Vono, uma empresa do grupo GVT.

```
register = serstr:1234567@vono.net.br:1571/5140639977

[Vono]
type=peer
host=vono.net.br           ; Nome de host do servidor da Vono
auth=md5
username=serstr            ; Nome de usuário para autenticação
secret=1234567             ; Senha para autenticação
qualify=yes
context=default
dtmfmode=rfc2833
dynamic=yes
fromdomain=vono.net.br
fromuser=serstr
insecure=very
nat=yes
reinvite=no
```

No arquivo *extensions.sip* foi necessário adicionar uma rota de saída e uma rota de entrada, que, no exemplo a seguir, direcionava as chamadas iniciadas com o número 0 para o canal Vono e todas as chamadas entrantes para o ramal 8501.

```
exten => _0X.,1,Dial(SIP/Vono/${EXTEN},60)
exten => _0X,2,Hangup()

exten => 5140639977,1,Set(FROM_DID=5140639977)
exten => 5140639977,2,Goto(default,8501,1)
```

Essas configurações foram apenas realizadas no Servidor A para a realização dos testes.

9.4.5 Configuração da funcionalidade de transferência de chamadas

A funcionalidade de transferência de chamadas permite que uma chamada seja transferida de um terminal para outro. Para que seja ativada, é necessária a manipulação dos arquivos *features.conf*, *sip.conf* e *extensions.conf*.

No arquivo *features.conf* foi adicionado um contexto onde ficaram inseridas as informações de transferência de chamadas. O exemplo a seguir ilustra a alteração efetuada neste arquivo, onde, para se realizar a transferência da chamada, é necessário pressionar no terminal as teclas # 1, seguido do número do ramal ao qual se deseja transferir a chamada.

```
[featuramap]
blindxfer => #1
```

No arquivo *sip.conf* foi necessário adicionar a opção *canreinvite = no* em todos os ramaís para habilitar a transferência de chamada. Essa opção faz com que a comunicação (sinalização) entre os dois clientes SIP tenha o Asterisk como intermediário e não seja feita de forma direta. A seguir um exemplo de configuração feito para o ramal 8501.

```
[8501]                                ; Contexto do ramal SIP 8501
type=friend                          ; Tipo definido para o ramal SIP
context=default                      ; Define um contexto para as chamadas recebidas pelo servidor
username=8501                        ; Nome do usuário
secret=12345                         ; Senha do usuário
callerid=Ramal 8501 <8501>           ; Identificador de chamadas
host=dynamic                         ; Endereço IP para endereço IP estático ou dynamic para
                                    ; dinâmico
disallow=all                         ; Desabilita todos os codecs
allow=gsm                            ; Habilita os codesc especificados
allow=ulaw
allow=alaw

canreinvite=no                       ; Tornando o Asterisk intermediário
```

Outra alteração foi realizada no arquivo *extensions.sip*, onde teve que se adicionar os valores *tT* a extensão que se estava configurando. O valor *t* permite que a extensão chamada realize a transferência, enquanto que a opção *T* permite a extensão que originou a chamada realizar a transferência. A seguir um exemplo de alteração realizada sobre a extensão 8501.

```
[default]
exten => 8501,1,Dial(SIP/8501,30,tT)    ; Inclusão dos valores tT
exten => 8501,2,Hangup()
```

Essa configuração foi realizada em todos os ramaís e nas duas centrais telefônica VoIP.

9.4.6 Configuração da funcionalidade de música em espera

A funcionalidade de música em espera é definida no arquivo *musiconhold.conf*. Por padrão essa funcionalidade já estava habilitada após a instalação do *software* Asterisk e não necessitou alterações.

9.4.7 Configuração da funcionalidade de URA

A configuração da funcionalidade de unidade de resposta audível exige a manipulação do arquivo *extensions.conf*, no entanto, se for necessária a inclusão de novos *prompts* de voz (mensagens de voz) personalizados, é necessário também a manipulação do arquivo *musiconhold.conf*, onde são configurados os locais e o tipo dos arquivos de áudio que se deseja utilizar.

No arquivo *extensions.conf* é necessário criar um contexto para automatizar o atendimento. O exemplo exibido a seguir apresenta um menu básico onde o chamador que ligar para 8550 é submetido a um *menu*, onde pode selecionadas as opções 1 ou 2, sendo que a opção 1 transfere a chamada para o ramal 8501, enquanto que a opção 2 transfere a chamada para o ramal 8502.

Se nenhuma opção é digitada, a chamada é transferida para o ramal 8503 e, caso seja digitada uma opção inválida, um aviso é emitido e a chamada retorna para mensagem inicial, apresentando novamente as opções.

```
[ura]
; Atende a chamada
exten => s,1,Answer()
; Aguarda um momento
exten => s,n,Wait(0.5)
exten => s,n,Set(TIMEOUT(digit)=5)
exten => s,n,Set(TIMEOUT(response)=15)
; Executa a mensagem atendimento
exten => s,n(playback),Background(transfer)
; Aguarda a digitação do destino
exten => s,n,WaitExten(5)

; Opção 1 transfere para a extensão 8501
exten => 1,1,Dial(SIP/8501)
; Opção 2 transfere para a extensão 8502
exten => 2,1,Dial(SIP/8502)

; Se digitado uma opção inválida retorna para o menu
exten => i,1,Background(invalid)
exten => i,n,Goto(s,playback)

;Se não é digitado nada transfere para a extensão 8503
exten => t,1,Dial(SIP/8503)
```

Essa configuração foi realizada no Servidor A, para que fosse possível testar essa funcionalidade.

9.4.8 Configuração da funcionalidade de fila de espera e sinalização simultânea de chamadas

Essa funcionalidade permite a criação de filas de espera, onde o chamador é inserido em uma fila e aguarda até que um dos ramais do grupo fique disponível, sendo então transferido para esse ramal. Enquanto permanecer na fila, o chamador fica escutando uma música.

Para a configuração dessa funcionalidade, os arquivos *queues.conf* e *extensions.conf* precisaram ser manipulados.

No arquivo *queues.conf* foram informados para quais ramais deveria ser feita a sinalização da chamada entrante e qual a música de espera que deveria ser executada.

O exemplo a seguir apresenta o arquivo *queues.conf* com o parâmetro *strategy* definido como *ringall*. Isso significa que a chamada é sinalizada ao mesmo tempo para todos os membros dessa fila. Esse parâmetro pode ser definido com outros valores, como, por exemplo, *random*, onde a chamada entrante é destinada aleatoriamente para um dos ramais da fila.

[1000]	; Contexto do grupo
music = default	; Música em espera
strategy = ringall	; Sinaliza ao mesmo tempo para todos os membros
member => SIP/8501	; Membros
member => SIP/8502	

Conforme ilustra o exemplo a seguir, no arquivo *extensions.conf* foi definida a extensão 1000, e nesta ficou definido que ao receber uma chamada, a primeira ação a ser executada é a função de atendimento automático *Answer*, em seguida é executada a música de espera e efetuada a sinalização da chamada através da função *Queue* para a fila criada no arquivo *queues.conf*.

[default]
exten => 1000,1,Answer()
exten => 1000,2,Queue(1000)
exten => 1000,3,Hangup()

Essa configuração foi realizada no Servidor A, para que essa funcionalidade pudesse ser testada.

9.4.9 Configuração da funcionalidade de correio de voz

A funcionalidade de correio de voz, ou VoiceMail, foi configurada através da manipulação dos arquivos *voicemail.conf*, *sip.conf* e *extensions.conf*.

No arquivo *voicemail.conf* foram inseridos os endereços de e-mail aos quais as mensagens de voz devem ser enviadas.

A seguir um exemplo que representa parte do arquivo *voicemail.conf* com a configuração do ramal 8501.

```
[correio]
8501 => 8501, Ramal 8501, sergiostr@gmail.com
```

No arquivo *sip.conf* foram relacionados os ramais dos usuários as caixas de correio de voz através do parâmetro mailbox.

```
[8501]                                ; Contexto do ramal SIP 8501
type=friend                          ; Tipo definido para o ramal SIP
context=default                      ; Define um contexto para as chamadas recebidas pelo servidor
username=8501                        ; Nome do usuário
secret=12345                         ; Senha do usuário
callerid=Ramal 8501 <8501>           ; Identificador de chamadas
host=dynamic                         ; Endereço IP para endereço IP estático ou dynamic para
                                    ; dinâmico
disallow=all                         ; Desabilita todos os codecs
allow=gsm                            ; Habilita os codesc especificados
allow=ulaw
allow=alaw

canreinvite=no                       ; Tornando o Asterisk intermediário

mailbox=8501                         ; Definição da caixa de correio de voz
```

No arquivo *extensions.conf* foi adicionada a função *VoiceMail* que é acionada caso a chamada não seja atendida.

```
[default]
exten => 8501,1,Dial(SIP/8501,30,tT)
exten => 8501,2,VoiceMail(8501@correio) ; Inclusão da função VoiceMail()
exten => 8501,3,Hangup()
```

A configuração de correio de voz foi executada apenas no Servidor A, de forma a permitir a realização dos testes sobre essa funcionalidade.

9.4.10 Configuração da funcionalidade de sala de conferência

A criação de salas de conferência é um processo muito simples. Para habilitar essa funcionalidade foi necessário manipular os arquivos *meetme.conf*.

O exemplo a seguir mostra o arquivo *meetme.conf* com as salas de conferência de número 1010 e 1011. Ainda é possível colocar uma senha de acesso a sala criada.

```
[salas]
conf => 1010                ; Sala 1010
conf => 1011, 12345         ; Sala 1011 com senha 12345
```

No arquivo *extensions.conf* é executada a função *meetme*, que é responsável pela realização da conferência. Os parâmetros da função *meetme*, ilustrados no exemplo a seguir, fazem com que seja requisitado o número da conferência que se queira participar.

```
exten => 8695,1,MeetMe(iMP)
```

A funcionalidade de sala de conferência foi implementada apenas no Servidor A, permitindo assim a realização dos testes.

9.4.11 Configuração do softphone X-lite

A configuração do softphone X-lite foi realizada tanto no Cliente A como no Cliente B para a realização dos testes. A Figura 9.2 exibe a configuração realizada no Cliente A, da localidade de Ivoti.

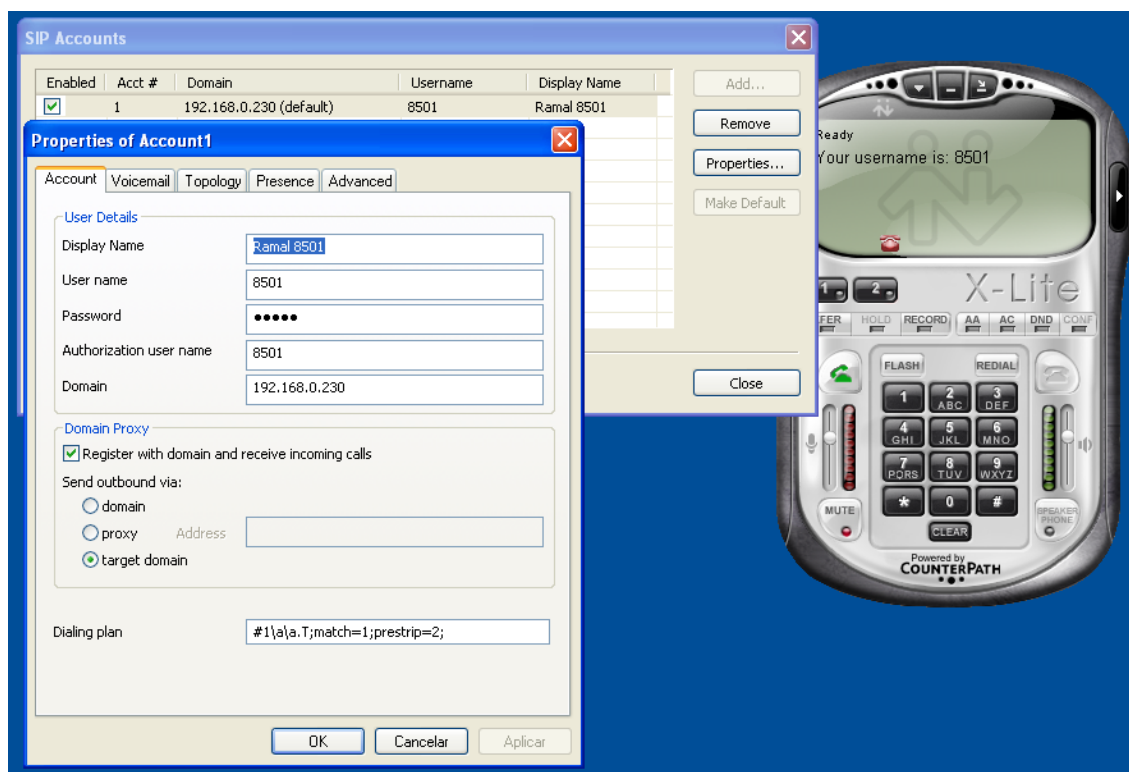


Figura 9.2 – Configuração do X-lite no Cliente A

Os demais parâmetros e configurações do *softphone* X-lite permaneceram assim como quando ele foi instalado, ou seja, o padrão de configuração fornecido pelo desenvolvedor do produto.

A configuração do X-lite ocorreu tanto no Cliente A como no Cliente B.

O próximo capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização dos testes e para a obtenção dos resultados na avaliação da implementação das centrais telefônicas VoIP sobre o ambiente criado.

10 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada para a realização dos testes e para a obtenção dos resultados. Para avaliação da qualidade de voz foi utilizada a metodologia PESQ (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*), enquanto que a avaliação das demais funcionalidades foi realizada através da verificação de seu correto funcionamento, ou seja, se realmente executavam as tarefas a que eram designadas.

Para avaliação da qualidade de voz foram realizadas chamadas VoIP entre dois clientes SIP presentes na localidade de Ivoti, o que permitiu avaliar a qualidade interna dessas chamadas. Também foram realizadas chamadas entre um cliente SIP presente na localidade de Ivoti e outro cliente SIP presente na estrutura que representava a localidade de Santo Estevão, permitindo avaliar a qualidade dessas chamadas na interligação das duas localidades.

A avaliação da qualidade de voz na utilização do provedor VoIP ocorreu através da realização de chamadas originadas por um clientes SIP registrado na central telefônica VoIP da localidade de Ivoti, para um cliente SIP presente na estrutura que representava a localidade de Santo Estevão, sendo que este cliente estava registrado diretamente no provedor VoIP.

Os arquivos de áudio utilizados nos testes acompanham a documentação PESQ, sendo que foram selecionados os vinte arquivos que apresentavam áudio não degradado, pois a documentação PESQ fornece também arquivos com áudio já degradado e destinados principalmente a desenvolvedores de *software* que desejam implementar a metodologia PESQ.

Para a realização dos testes nas três situações expostas, foram executados os seguintes passos:

- Execução do *software* Wireshark nas duas estações com cliente SIP e ativação da captura de pacotes na interface de rede utilizada;
- Execução do *software* Audacity e abertura do arquivo de áudio selecionado na estação emissora do áudio;
- Execução do *softphone* X-lite nas duas estações e estabelecimento da chamada entre os clientes SIP;
- Reprodução do arquivo de áudio através do *software* Audacity;
- Encerramento da chamada após a reprodução do arquivo de áudio;
- Extração do áudio através o *software* Wireshark obtido com a captura do tráfego RTP, onde o arquivo de referência é extraído da estação emissora do áudio e o arquivo degradado é extraído da estação receptora do áudio;
- Conversão dos arquivos de áudio extraídos das duas estações para o formato *wave*, 16 bits PCM com taxa de amostragem de 8kHz;
- Comparação dos dois arquivos gerados utilizando o aplicativo PESQ com a obtenção do escore PESQ.

O aplicativo PESQ foi instalado no equipamento identificado como Cliente A. Para a comparação entre os arquivos de áudio gerados na estação emissora (arquivo original) e na estação receptora (arquivo degradado), foi executado no *Prompt de comando* do Windows XP o seguinte comando:

<p>pesqmain +8000 <arquivo de referência> <arquivo degradado></p>

Através desse comando é obtido o escore PESQ da comparação entre os arquivos de áudio extraídos da estação emissora e receptora.

Os testes para avaliação da qualidade de voz foram realizados através da utilização dos vinte arquivos de áudio selecionados, transmitidos com os codecs G.711 aLaw e G.711 μ Law. Esses testes também foram realizados em dois períodos distintos do dia, sendo o primeiro entre o horário das 14 horas e 17 horas, onde há um tráfego elevado tanto na rede

interna de dados como no *link* de Internet da localidade de Ivoti, e o segundo após as 20 horas, quando o tráfego é considerado baixo.

Dessa forma, foi possível identificar se a qualidade de voz era influenciada pela utilização de determinado codec, ou pelo excesso de tráfego na rede de dados.

A funcionalidade de correio de voz foi testada originando-se uma chamada do Cliente A para o Cliente B, sendo que o não atendimento dessa chamada em trinta segundos fez com que ela fosse encaminhada para a caixa de correio de voz do Cliente B. Após esse encaminhamento foi gravada uma mensagem de voz de aproximadamente um minuto de duração e encerrada a chamada. Em seguida, verificou-se o correto encaminhamento da mensagem de voz para o endereço de E-mail configurado para o ramal do Cliente B, e também se ela apresentava o áudio gravado. Esse procedimento foi realizado por dez vezes.

A URA foi testada originando-se uma chamada de uma linha convencional para o número fornecido pelo provedor VoIP utilizado nos testes. Após a realização da chamada, a central telefônica VoIP atendia automaticamente, e dentro das opções estabelecidas no menu previamente configurado, encaminhava a chamada ou para o Cliente A, ou para o Cliente B. Cada chamada teve um minuto de duração. Esse procedimento foi realizado dez vezes, sempre alternando como destino final da chamada o Cliente A e o Cliente B.

O recurso de roteamento e estabelecimento das chamadas realizadas a partir da central telefônica VoIP para o PABX convencional foi testado através do estabelecimento de uma chamada originada pelo Cliente A para um ramal do PABX convencional. Cada chamada teve um minuto de duração. Esse procedimento foi realizado dez vezes.

O recurso de roteamento e estabelecimento das chamadas realizadas a partir do PABX convencional para a central telefônica VoIP foi testado através do estabelecimento de uma chamada originada por um ramal do PABX convencional para o Cliente A. Cada chamada teve um minuto de duração. Esse procedimento foi realizado dez vezes.

A funcionalidade de fila de espera e sinalização simultânea de chamadas foi testada através do estabelecimento de uma chamada originada de uma linha convencional para o número fornecido pelo provedor VoIP utilizado nos testes. Após a realização da chamada, a central telefônica VoIP sinalizava simultaneamente a ligação entrante para os ramais do Cliente A e do Cliente B. Esse procedimento foi realizado por dez vezes, sendo que o

atendimento da chamada ocorreu de forma alternada entre os clientes A e B, e depois de atendida, cada chamada teve um minuto de duração.

O teste da funcionalidade de transferência de chamadas permitiu também testar a funcionalidade de música em espera. Esse procedimento foi realizado por dez vezes, e ocorreu através do estabelecimento de uma chamada originada de um terminal conectado a uma linha convencional para o número fornecido pelo provedor VoIP utilizado nos testes.

A chamada, após ser recebida pela central telefônica VoIP, foi encaminhada e atendida pelo cliente A, este aguardou trinta segundos e pressionou sequencialmente as teclas #1 no *softphone* X-lite. Neste momento, o terminal conectado a linha convencional recebeu o áudio de uma música em espera, enquanto que o Cliente A recebeu o tom de discagem. Passados dez segundos, o Cliente A digitou o ramal do Cliente B, transferindo chamada. Após atender a chamada, o Cliente B permaneceu com ela ativa por um minuto.

A funcionalidade de conferência foi testada através de uma chamada originada pelo Cliente A para um número previamente definido para uma sala de conferência. A central telefônica VoIP atendeu a chamada e automaticamente a deixou na espera. Na sequência, o Cliente B realizou o mesmo procedimento, e só então a central telefônica VoIP realizou a conferência. Esse procedimento foi realizado dez vezes e cada conferência teve um minuto de duração.

Este capítulo apresentou a metodologia utilizada para a realização dos testes. Foram demonstrados todos os procedimentos adotados para a obtenção dos resultados que são apresentados no próximo capítulo.

11 RESULTADOS OBTIDOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nos testes. Inicialmente são demonstrados os resultados relativos a avaliação da qualidade de voz e posteriormente os resultados obtidos com os testes realizados com as funcionalidades do *software* Asterisk.

11.1 Resultados obtidos nos testes

É importante salientar que nos testes para a obtenção dos escores PESQ, cada amostra de áudio foi testada utilizando-se apenas dois codecs e em dois períodos diferentes do dia, um a tarde e outro a noite.

A Tabela 11.1 apresenta os escores PESQ obtidos na comparação realizada entre as amostra de áudio de referência e degradada sobre chamadas VoIP internas.

Tabela 11.1 – Escore PESQ obtido por período e codec nas chamadas VoIP internas

Arquivo de Áudio	Dia		Noite	
	Codec G.711 μ Law	Codec G.711 aLaw	Codec G.711 μ Law	Codec G.711 aLaw
or105.wav	4,485	3,843	4,451	4,113
or109.wav	4,071	3,387	4,412	3,940
or114.wav	4,077	4,130	4,391	4,219
or129.wav	4,487	4,279	4,277	4,318
or134.wav	4,486	4,497	4,341	4,431
or137.wav	4,485	3,957	4,116	4,422
or145.wav	4,359	4,498	3,950	4,415
or149.wav	4,013	4,141	3,604	4,307
or152.wav	4,050	4,497	4,218	4,298
or154.wav	4,487	4,498	4,481	4,473
or155.wav	4,487	3,981	4,315	4,390
or161.wav	4,487	3,941	4,421	4,144
or164.wav	3,758	4,148	4,393	3,956
or166.wav	3,959	4,260	4,446	4,241
or170.wav	3,661	4,086	4,371	4,412
or179.wav	3,184	4,496	4,481	4,353
or221.wav	4,186	4,032	4,105	4,109
or229.wav	3,064	3,997	4,341	3,841
or246.wav	4,484	3,826	4,479	4,122
or272.wav	4,487	4,324	4,244	4,477
<i>Média</i>	<i>4,138</i>	<i>4,141</i>	<i>4,292</i>	<i>4,249</i>

A Tabela 11.2 apresenta os escores PESQ obtidos nos testes realizados sobre as chamadas VoIP entre a localidade de Ivoti e a localidade que representava Santo Estevão.

Tabela 11.2 – Escore PESQ obtido por período e codec nas chamadas de interligação

Arquivo de Áudio	Dia		Noite	
	Codec G.711 μ Law	Codec G.711 aLaw	Codec G.711 μ Law	Codec G.711 aLaw
or105.wav	3,896	4,246	4,332	3,978
or109.wav	4,402	4,023	4,487	4,175
or114.wav	3,806	4,279	4,437	4,387
or129.wav	4,466	4,261	4,324	4,424
or134.wav	4,104	3,52	4,079	4,398
or137.wav	4,486	3,798	4,276	4,157
or145.wav	3,432	3,223	4,187	4,241
or149.wav	2,676	3,003	3,850	3,975
or152.wav	3,285	3,765	4,264	4,287
or154.wav	4,485	3,603	4,137	4,435
or155.wav	4,079	3,823	4,023	4,466
or161.wav	3,566	4,333	3,974	4,132
or164.wav	4,219	3,851	3,967	4,283
or166.wav	4,232	4,102	4,453	3,945
or170.wav	4,487	4,318	4,354	4,428
or179.wav	3,857	3,952	3,843	4,241
or221.wav	3,564	3,83	4,254	4,187
or229.wav	4,487	4,16	4,187	4,364
or246.wav	4,485	4,321	4,467	3,996
or272.wav	4,413	3,263	4,378	4,384
<i>Média</i>	4,021	3,884	4,214	4,244

A Tabela 11.3 apresenta os escores PESQ obtidos nos testes realizados sobre as chamadas VoIP utilizando o provedor VoIP.

Tabela 11.3 – Escore PESQ obtido por período e codec nas chamadas com provedor VoIP

Arquivo de Áudio	Dia		Noite	
	Codec G.711 μ Law	Codec G.711 aLaw	Codec G.711 μ Law	Codec G.711 aLaw
or105.wav	4,366	4,298	3,967	4,431
or109.wav	4,381	3,748	4,178	4,214
or114.wav	4,368	4,225	4,074	4,173
or129.wav	4,429	3,986	4,345	4,048
or134.wav	4,416	4,211	4,467	4,173
or137.wav	4,432	4,136	4,114	3,901
or145.wav	3,913	4,399	3,980	3,954
or149.wav	4,433	4,399	4,291	4,216
or152.wav	4,271	4,300	4,438	4,346
or154.wav	4,247	4,397	4,342	4,421
or155.wav	4,244	4,246	4,301	4,331
or161.wav	4,450	4,199	4,391	3,874
or164.wav	4,167	4,269	4,413	3,991
or166.wav	3,443	4,282	4,148	4,175
or170.wav	3,496	4,399	4,347	4,217
or179.wav	3,566	4,298	4,145	4,311
or221.wav	4,233	3,897	3,914	4,109
or229.wav	4,434	3,486	3,876	4,407
or246.wav	3,888	4,022	4,051	4,354
or272.wav	4,137	4,183	4,235	4,108
<i>Média</i>	4,166	4,169	4,201	4,188

Durante a execução de testes preliminares para a realização de chamadas com a utilização do provedor VoIP ocorreu um fato preocupante. Após o estabelecimento da chamada, ao invés do cliente que estava conectado diretamente ao provedor VoIP receber o áudio enviado pelo cliente conectado a central telefônica VoIP, ele recebeu o áudio emitido de um outro cliente VoIP externo e provavelmente conectado a este provedor. O fato foi semelhante ao que é comumente conhecido como “linha cruzada” na telefonia convencional e ocorreu por duas vezes.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos, as médias dos escores PESQ de cada série de testes são apresentadas em forma de gráfico na Figura 11.1.

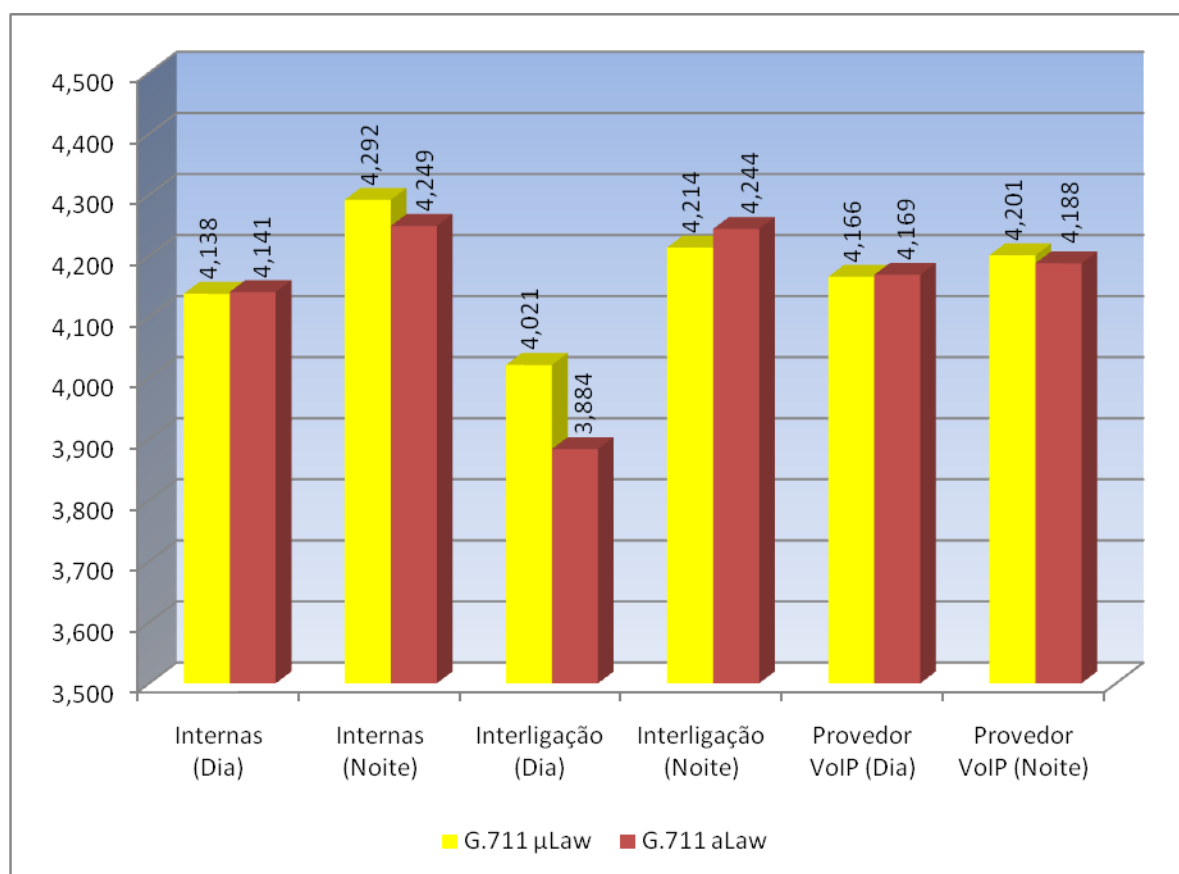


Figura 11.1 – Comparativo entre as médias do escore PESQ

Os resultados obtidos sobre os testes realizados sobre as funcionalidade de correio de voz, URA, integração entre as centrais telefônicas VoIP e convencional, fila de espera e sinalização simultânea de chamada, transferência de chamadas e conferência, obtiveram 100% de sucesso, não sendo registrada nenhuma falha.

11.2 Avaliação dos Resultados

Com base nos resultados obtidos na avaliação da qualidade de voz sobre a estrutura testada, é possível destacar os seguintes pontos:

- a) Apesar de os testes terem sido realizados utilizando os codecs G.711 aLaw e G.711 μ Law, que consomem até 64Kbps da rede de dados onde trafega o fluxo de áudio, os resultados podem ser considerados bons, visto que a escala MOS considera assim resultados com valores maiores ou iguais a 4 e abaixo de 5. Apenas a média dos testes de interligação das unidades, executados durante o período do dia e com o codec G.711 aLaw, não atingiu esse nível, ficando 2,9% abaixo.
- b) Todos os testes realizados no período da noite tiveram resultados com a média superiores aos dos realizados no período da tarde, possivelmente por causa da diminuição no tráfego de rede no período da noite, tanto na rede local como no uso da Internet.
- c) Com relação ao escore MOS esperado para os codecs G.711 μ Law e G.711 aLaw, todos os resultados ficaram muito próximos de 4,2, sendo que a maior diferença ocorreu com a média quando utilizado o codec G.711 aLaw e no período da tarde, onde o resultado ficou 7,52% abaixo. Nos demais testes o resultado não chegou a ficar 4,5% acima ou abaixo do escore MOS esperado.
- d) Os resultados obtidos seja pela utilização do codec G.711 μ Law ou do codec G.711 aLaw, não apresentaram diferenças significantes. Apenas nos testes realizados sobre a interligação das unidades e durante o dia é que houve uma diferença maior, onde a média do G.711 aLaw ficou com um resultado 3,4% inferior a média do G.711 μ Law. Nos demais testes os resultados ficaram no máximo com 1% de diferença.
- e) O fato de os resultados obtidos nos testes realizados durante o dia sobre a interligação das duas unidades terem tanta diferença com relação aos demais pode ter ocorrido em virtude de um aumento momentâneo no tráfego da rede local ou da Internet. Mesmo assim, o resultado médio do escore PESQ para o codec G.711 aLaw esteve muito próximo de ser considerado bom, enquanto

que o resultado médio para o codec G.711 pode ser efetivamente considerado bom.

Com relação aos resultados obtidos nos testes realizados sobre as demais funcionalidades, os seguintes pontos devem ser destacados:

- a) O fato de não ter ocorrido nenhum problema durante os testes sobre as funcionalidades não significa que o sistema não esteja suscetível a falhas.
- b) De uma forma geral, a central telefônica VoIP se mostrou bastante estável durante todos os testes.
- c) O fato ocorrido nos testes preliminares, quando o ambiente ainda estava sendo preparado para a realização dos testes de avaliação da qualidade de voz com a utilização do provedor VoIP, onde por duas vezes foi recebido o áudio de um cliente VoIP externo e desconhecido, necessitaria de uma avaliação mais ampla, pois não foi possível detectar com exatidão onde esse problema ocorreu. No entanto, é provável que seja uma falha relacionada ao provedor VoIP, pois a central telefônica VoIP testada naquele momento não teria como capturar por si só o áudio de um cliente VoIP não conectado a ela.

Esse fato ocorrido durante as avaliações da qualidade de voz na utilização do provedor VoIP, foi incluído como um ponto de destaque nos testes realizados sobre as funcionalidades, devido a gravidade que uma falha dessas pode representar.

Mesmo assim, após a realização de todos os testes foi possível constatar que a implementação das centrais telefônicas VoIP com a utilização do *software* Asterisk teria a capacidade de suprir as necessidades apontadas na estrutura da empresa analisada.

CONCLUSÃO

No decorrer do desenvolvimento deste trabalho de conclusão, procurou-se abordar os mais diversos conceitos que definem a tecnologia VoIP. Assuntos como a evolução da telefonia, protocolos VoIP, métodos para a avaliação da qualidade de voz e a implementação de centrais telefônicas VoIP também tiveram destaque.

A tecnologia VoIP está indo muito além do que o seu simples uso para realização de ligações telefônicas. A introdução de novos recursos culminou com o desenvolvimento da telefonia IP. Diversas soluções já foram desenvolvidas para permitir a sua utilização, algumas utilizando *hardware* e *software* proprietários e outras utilizando *software* livre e *hardware* de baixo custo.

Para esta monografia optou-se pela utilização do *software* livre Asterisk, já que ele permite às empresas a introdução da tecnologia VoIP e de outros recursos, como por exemplo, correio de voz, música em espera e URA, abrindo, desta forma, um leque de benefícios que podem ser implementados através da utilização deste PABX IP livre.

No entanto, isso não significa que essa seja a única ou a solução ideal para todas as empresas. Em muitos casos, a contratação de uma empresa especializada em telecomunicações, que seja responsável pela implantação, fornecimento e manutenção de toda estrutura de telefonia, pode e deve ser amplamente considerada.

Mesmo com todo o furor que existe sobre a tecnologia VoIP, uma completa migração de uma estrutura que utiliza como base a telefonia convencional, para uma estrutura totalmente baseada na tecnologia VoIP pode ser considerado um grande erro.

Uma empresa, antes de optar pela utilização da tecnologia VoIP, deve realizar uma análise detalhada de sua estrutura, tanto na de telefonia como na de rede de dados. Caso não

possua um profissional em seu quadro funcional capaz de realizar essa atividade, deverá ela contratar uma consultoria especializada que a faça, de forma a evitar investimentos desnecessários em algo que só trará mais custos ao invés de economia.

A maturidade alcançada pela telefônica convencional, no decorrer de toda sua evolução, é um fator que ainda pesa a seu favor. Em contrapartida, a tecnologia VoIP vem ganhando espaço através da evolução dos circuitos de dados, cada vez mais rápidos, estáveis, baratos e capazes de priorizar o tráfego de pacotes contendo fluxos de áudio.

A principal contribuição desse trabalho de conclusão é demonstrar uma forma de como é possível fazer uso da tecnologia VoIP em um ambiente corporativo, mesmo com todas as dificuldades que envolvem sua implantação.

Os testes realizados comprovam a viabilidade de implementação da central telefônica VoIP, baseada em *software* livre, em um ambiente empresarial, inclusive com o aproveitamento da estrutura de telefonia convencional existente.

Os resultados obtidos nos testes de avaliação da qualidade de voz através da aplicação da metodologia PESQ foram bons. Já os resultados obtidos com os testes realizados sobre as funcionalidades fornecidas pelo *software* Asterisk foram 100% positivos.

O único fato negativo encontrado ocorreu durante os testes preliminares, quando o ambiente ainda estava sendo preparado para a realização dos testes de avaliação da qualidade de voz com a utilização do provedor VoIP, onde por duas vezes foi recebido o áudio de um cliente VoIP externo e desconhecido.

Possivelmente a origem do áudio era de outro cliente conectado ao provedor VoIP. No entanto não foi possível detectar com clareza as causas dessa falha, mas sem dúvida esse é um problema que vai ao encontro da maturidade que a tecnologia VoIP ainda necessita alcançar.

É importante frisar que os resultados obtidos nos testes realizados ocorreram dentro de um ambiente específico, o que não significa que os mesmos possam ser reproduzidos fielmente em outro ambiente. Isso ocorre porque alguns fatores como o correto dimensionamento da rede de dados, *hardware* e *software* utilizados, entre outros, podem variar de uma estrutura para outra e interferir diretamente na obtenção dos resultados.

A seguir são apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros que tenham como objetivo a continuação e aprimoramento desse projeto:

- Realização de um maior número de testes, incluindo outras metodologias de avaliação da qualidade voz e codecs para a obtenção de resultados mais exatos;
- Desenvolvimento de uma proposta que englobe vídeo conferência;
- Desenvolvimento de um ambiente utilizando balanceamento de carga entre múltiplos servidores VoIP;
- Análise comparativa entre centrais telefônicas VoIP baseadas em *software* livre e centrais telefônicas VoIP comerciais;
- Teste e comparação na utilização de VoIP em redes que possuam e que não possuam QoS.

Como já mencionando anteriormente, este trabalho apresentou uma forma para se implantar a tecnologia VoIP em um ambiente corporativo. Considerando o modelo utilizado, é possível que ele sirva como uma fonte de pesquisa para pessoas que tenham interesse em aplicar a implementação de centrais telefônicas VoIP em suas empresas/instituições, ou apenas para estudo da tecnologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Carlos Alberto de Souza. **VoIP – Voz Sobre IP**. Uberlândia. Disponível em <<http://www.si.uniminas.br/TFC/monografias/Monografia%20VoIP%20JULHO%202004.pdf>>. Acesso em: 12 mai 2007.

BRITO, José Marcos Câmara. **Voz Sobre IP: Tecnologias e Aplicações**. Disponível em: <http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelematica%5CCom_Dados_2%5CVoz_sobre_IP.pdf>. Acesso em: 20 mai 2007.

BUONACORSO, Gustavo L. **VoIP é sinônimo de economia nas empresas**. Disponível em: <<http://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?from%5Finfo%5Findex=//1&infoid=4017&sid=26>>. Acesso em: 17 mar 2007.

CHOWDHURY, Dhiman D. **Projetos Avançados de Redes IP: Roteamento, Qualidade de Serviço e Voz sobre IP**. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 380p.

COLCHER, Sérgio et al. **VoIP: Voz sobre IP**. Rio de Janeiro: Campus, 2005. 288 p.

DAVID, Fabio. **Ferramentas de Monitoração Ativa e Passiva para Avaliação da Qualidade de Redes VoIP**. Disponível em: <<http://www.voip.nce.ufrj.br/publication/2004/tese-fabio.pdf>>. Acesso em: 20 mai 2007.

DIGIUM. **Asterisk Architecture Overview**. Disponível em: <http://www.asteriskvoipnews.com/asterisk_development/asterisk_architecture_overview.html>. Acesso em: 04 jun 2007.

FERNANDES, N. **Relação entre a Qualidade das Respostas das Recomendações G.723.1 e G.729, e o Comportamento da Rede IP de Suporte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003, 161p.

FERRARI, Antonio Martins. **Telecomunicações: Evolução & Revolução**. 9ª ed. São Paulo: Érica, 2005. 324 p.

FRIEDMAN, T.; CACERES, R.; CLARK, A. **RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR)**. RFC 3611, novembro de 2003.

GOMILLION, David; DEMPSTER, Barrie. **Construindo Sistemas de Telefonia com o Asterisk**. Birmingham: Packt Publishing, 2005. 175 p.

GOOGLE. **Google Images**. Disponível em: <http://images.google.com.br>. Acesso em: 12 mai 2007.

GREENE, Tim. **Grandes empresas lideram o uso de VoIP. IDG Now!**. Disponível em: http://idgnow.uol.com.br/telecom/2006/05/18/idgnoticia.2006-05-18.0065292415/IDGNoticia_view>. Acesso em: 17 mar 2007.

HARFF, Rafael Neves. **Análise da Qualidade de Voz utilizando a Metodologia PESQ**. Novo Hamburgo. 2006. Monografia. Centro Universitário Feevale.

HART, Diogo Leidens. **Estudo e desenvolvimento de solução de voz sobre IP baseada em Software Livre**. Foz do Iguaçu. 2005. Monografia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

HERSENT, Oliver et al. **Telefonia IP: Comunicação multimídia baseada em pacotes**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 451 p.

INFOCORPORATE. **Dossiê: Telefonia IP - Diga adeus ao PABX**. Nº 39. São Paulo: Abril, 2006.

ITU-T. **Methods for Subjective Determination of Transmission Quality**: Recommendation P.800. Genebra-Suíça: 1996.

ITU-T. **Objective Quality Measurement of Telephone Band (300-3400 Hz) Speech Codecs**: Recommendation P.861. Genebra-Suíça: 1996.

ITU-T. **Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs**: Recommendation P.862. Genebra-Suíça: 2001.

ITU-T. **Subjective Performance Assessment of Telephone-Band And Wideband Digital Codecs**: Recommendation P.830. Genebra-Suíça: 1996.

KUROSE, James F; ROSS, Keith W. **Redes de Computadores e a Internet**. São Paulo: Addison Wesley, 2006. 548p.

MEGGELEN, Jim Van et al. **Asterisk: O Futuro da Telefonia**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2005. 312p.

OLIVEIRA, C. X. **Implantação de um Laboratório de Voz sobre IP UnB**. Brasília. 2007. Monografia. Universidade de Brasília.

PINHEIRO, José Mauricio Santos. **Centrais Privadas de Telefonia**. Disponível em: http://www.metrored.com.br/artigos/artigo_centrais_privadas_de_telefonia.php>. Acesso em: 06 mai 2007.

PRODANOV, Cleber C. **Manual de Metodologia Científica**. Novo Hamburgo: Feevale, 2006. 77p.

REICHERT, Romeu Hugo. **Transmissão de voz sobre redes de pacotes: Estudo de caso com H.323**. Novo Hamburgo. 2004. Monografia. Centro Universitário Feevale.

SKYPE. Disponível em: <<http://www.skype.com/intl/pt/download/screenshots.html>>. Acesso em: 12 mai 2007.

TELECO. **Conceitos de VOIP/Telefonia IP e Regulamentação aplicável**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/voip.asp>>. Acesso em: 12 mai 2007.

US PHONE BRASIL. **Breve história do VoIP**. Disponível em: <<http://www.usphone.us/Portugese/>>. Acesso em: 12 mai 2007.

VOLTAN J., Guilherme. **Voz sobre IP: Segurança de Transmissões**. Disponível em: <http://www.guilherme.osforadehora.com.br/arquivos/Monografia_guilherme_voip.pdf>. Acesso em: 20 mai 2007.