

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**CONVERGÊNCIA E INTEROPERABILIDADE ENTRE A
REDE DE TELEFONIA FIXA COMUTADA E A REDE IP**

FELIPE PÓVOA ARAÚJO
MARIA CECÍLIA DA COSTA BRAGA

ORIENTADOR: FLÁVIO ELIAS GOMES DE DEUS

**MONOGRAFIA APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA CONCLUSÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE REDES DE
COMUNICAÇÃO**

BRASÍLIA/DF: JULHO – 2009

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

**CONVERGÊNCIA E INTEROPERABILIDADE ENTRE A REDE DE
TELEFONIA FIXA COMUTADA E A REDE IP**

FELIPE PÓVOA ARAÚJO
MARIA CECÍLIA DA COSTA BRAGA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DE GRAU DE ENGENHEIRO DE REDES DE COMUNICAÇÃO.

APROVADA POR:

FLÁVIO ELIAS GOMES DE DEUS, DOUTOR, UnB
(ORIENTADOR)

GEORGES AMVAME NZE, DOUTOR, UnB
(EXAMINADOR INTERNO)

ALESSANDRO LUIZ CHAHINI ESCUDERO, ENGENHEIRO, CÂMARA DOS DEPUTADOS
(EXAMINADOR EXTERNO)

BRASÍLIA/DF, 08 DE JULHO DE 2009

FICHA CATALOGRÁFICA

ARAÚJO, FELIPE PÓVOA; BRAGA, MARIA CECÍLIA DA COSTA

Convergência e Interoperabilidade entre a Rede de Telefonia Fixa Comutada e a Rede IP [Distrito Federal] 2009.

xiv, 74p., 210 x 297 mm

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Convergência entre RTFC e Redes IP

2. Voz sobre IP

3. Solução MX-ONE

4. Solução Asterisk

I. ENE/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ARAÚJO, F. P.; BRAGA, M. C. C. (2009). Convergência e Interoperabilidade entre a Rede de Telefonia Fixa Comutada e a Rede IP. Monografia de Graduação, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 70p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Felipe Póvoa Araújo; Maria Cecília da Costa Braga.

TÍTULO: Convergência e Interoperabilidade entre a Rede de Telefonia Fixa Comutada e a Rede IP.

GRAU: Engenheiro de Redes de Comunicação

ANO: 2009

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

Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte

CEP 70.910.900 Brasília/DF – Brasil

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por estar sempre presente em nossas vidas, nos dando força e iluminando nosso caminho;

Aos nossos pais, que enfrentaram tantas dificuldades com o intuito de nos proporcionar boas condições de estudo, deixando outras coisas em segundo plano.

Aos nossos tios, primos e avós que mostraram sempre estar do nosso lado, nos apoiando para que concluíssemos mais essa etapa de nossas vidas;

Aos professores da UnB que ajudaram a nos dar uma boa base para o pleno desenvolvimento deste projeto;

Aos nossos amigos (e namorado), presentes em todas as horas que precisamos, nos ajudando a enfrentar as dificuldades, a aprender com os fracassos e a valorizar as conquistas;

A Wright que nos ajudou com as traduções na fase final do projeto;

Ao Alessandro, que nos indicou os caminhos a serem traçados para o bom desenvolvimento deste projeto.

Ao Arnon, Piau, Pelé, Daniel, Mavros, e demais funcionários da Câmara que nos deram todas as condições possíveis e sempre apoiaram o desenvolvimento deste projeto.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a nossa formação acadêmica com qualidade e para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho se enquadra na área de graduação em Engenharia de Redes de Comunicações e tem como objetivo descrever um modelo para a ampliação de uma central telefônica existente em um ambiente corporativo.

Essa ampliação tem como base a convergência entre a tecnologia da Rede de Telefonia Pública Comutada (RTPC) e a Rede de comutação por pacotes. Para alcançar o resultado esperado, de definir a melhor maneira e arquitetura para se realizar a ampliação, foram feitos estudos de conceitos sobre os dois tipos de rede citadas, como: infra-estrutura, sinalização, protocolos, segurança da informação trafegada, entre outros. Além disso, foram também estudados conceitos de voz sobre IP com o objetivo de entender melhor como funciona essa convergência entre a rede de voz e a rede de dados.

Em seguida, foram estudados conceitos sobre dois sistemas que funcionam como central telefônica. A partir do estudo inicial do sistema legado, foi possível definir as principais formas diferentes de se chegar a uma ampliação de forma transparente. Em seguida uma dessas maneiras foi escolhida como sendo a melhor forma de se implantar a ampliação do PABX pretendida.

ABSTRACT

This is a graduate project in Network Communication Engineering with the objective of describe a model for expansion of an existing telephone exchange in a corporate environment.

This amplification is based on the convergence between a Public Switched Telephone Network (PSTN) technology and a Packet Switching Network technology. To achieve the expected outcome, to define the best architecture for doing this expansion, studies were made of concepts on the two types of network such as infrastructure, signaling, protocols, security of information traffic, among others. Furthermore, we also studied concepts of Voice over IP in order to better understand how the convergence of the voice network and packet network.

Then concepts were studied on two systems that act as central telephone. From the initial study of the legacy system, it was possible to define the main ways to achieve an expansion in a transparent manner. Then one of those ways was chosen as the best way to deploy the extension of the PABX you want.

LISTA DE FIGURA

FIGURA 2.1 - CONFIGURAÇÃO BÁSICA DE UMA RTFC.....	20
FIGURA 2.2 - CENTRAIS DE COMUTAÇÃO.	23
FIGURA 2.3 - ARQUITETURA DE UM PABX TRADICIONAL.....	25
FIGURA 2.4 - ARQUITETURA DO PROTOCOLO TCP/IP	30
FIGURA 2.5- ARQUITETURA ASTERISK	43
FIGURA 2.6- LIGAÇÃO ENTRE CANAIS FXO E FXS	44
FIGURA 2.7 - PLACA X100P	46
FIGURA 2.8 - PLACA TDM400P	47
FIGURA 2.9 - PLACA TE405P	47
FIGURA 3.1 - MODELO DO HARDWARE PROPRIETÁRIO, MD110.....	50
FIGURA 3.2 - REDE TELEFÔNICA DA CÂMARA DOS DEPUTADOS.....	51
FIGURA 4.1 - LIGAÇÃO ENTRE O PABX MD-110 E O MX-ONE.....	58
FIGURA 4.2 - ARQUITETURA DA SOLUÇÃO EM HARDWARE.	60
FIGURA 4.3 -RECURSOS DISPONÍVEIS EM UM PABX IP	62
FIGURA 4.4 - REPRESENTAÇÃO DA INTEGRAÇÃO DOS RECURSOS DO PABX ASTERISK.....	62
FIGURA 4.5 - REPRESENTAÇÃO DA CENTRAL TELEFÔNICA E REDE IP ATUAL DA CÂMARA DOS DEPUTADOS.....	63
FIGURA 4.6 – CONVERGÊNCIA ENTRE REDES USANDO O ASTERISK	65

LISTA DE TABELAS

TABELA 2-1 - DADOS RELATIVOS A CADA TIPO DE CODEC.....	35
TABELA 2-2 - HARDWARE MÍNIMO REQUERIDO.....	48
TABELA 4.1 DADOS TÉCNICOS DO MX-ONE.....	57

LISTA DE ACRÔNIMOS

AES	Advanced Encryption Standart
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network
CENIN	Centro de informática
CODECs	Coder/Decoder
CPU	Central Processing Unit
DAC	Distribuidor Automático de Chamadas
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DEA	Data Encryption Algorithm
DES	Data Encryption Standart
DSA	Digital Signature Algorithm
DSP	Digital Signal Processing
ERB	Estação Rádio Base
ESU	Embedded Server Unit
FXO	Foreing Exchange Station
FXS	Foreing Exchange Office
GoS	Grade of Service
GPL	General Public License
HTTP	Hyper Text Transmission Protocol
IDEA	International Data Encryption Algorithm
IAX	Inter-Asterisk Exchange Protocol
IP	Internet Protocol
IPSec	IP Security
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO	International Organization Standardization
ITU	International Telecommunication Union
MEGACO	Media Gateway Control Protocol
MGCP	Media Gateway and Control Protocol
MOS	Mean Opinion Score
NAT	Network Address Translation
OSI	Open System Interconnection
PABX	Private Automatic Branch Exchange

PBX	Private Branch Exchange
PGP	Pretty Good Privacy
PPTP	Point-to-point tunneling protocol
PSS1	Private Signaling System Number1
PCM	Pulse Code Modulation
Q-SIG	Sinalização-Q
Q-SIG BC	Q-SIG Basic Call
Q-SIG GF	Q-SIG Generic Function
QoS	Quality of Service
RC5	Rivest Cipher 5
RTP	Real Time Protocol
RTCP	Real Time Control Protocol
RTSP	Real-time Streaming Protocol
RTFC	Rede de Telefonia Fixa Comutada
SDP	Session Description Protocol
Siafi	Sistema Integrado de Administração Financeira
SIGTRAN	Signalling Transport
SIP	Session Initiation Protocol
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SS7	Sinalização por Canal Comum Número 7
SSL	Secure Socket Layer
STFC	Serviço Telefônico Fixo Comutado
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/IP	Transfer Control Protocol/Internet Protocol
TLS	Transport Layer Security
TUP	Terminais de Uso Público
UA	User Agent
UAC	User Agent Client
UAS	User Agent Server
UDP	User Datagrama Protocol
URA	Unidade de Resposta Automática
VoIP	Voz sobre IP.
VPN	Virtual Private Network

WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLL	Wireless Local Loop

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. MOTIVAÇÃO	16
1.2. PROBLEMA	16
1.3. OBJETIVOS	17
1.4. RESULTADOS ESPERADOS	17
1.5. METODOLOGIA	17
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. CONCEITOS TEÓRICOS	20
2.1. REDE DE TELEFONIA FIXA COMUTADA	20
2.1.1. Rede de Acesso	21
2.1.2. Rede de Comutação	21
2.1.2.1. Central Local	21
2.1.2.2. Central Tandem	22
2.1.2.3. Central Trânsito e Central Trânsito Internacional	22
2.1.2.4. Rede de Transmissão	22
2.1.3. Sinalização por Canal Comum Número 7	23
2.1.4. Centrais Privadas de Comutação Telefônica	24
2.1.4.1. Protocolo Q-SIG	25
2.1.5. Engenharia de tráfego	26
2.2. REDE DE COMUTAÇÃO DE PACOTES	27
2.2.1. Protocolos TCP/IP e UDP	29
2.2.1.1. Camada de Aplicativos	31
2.2.1.2. Camada de Transporte	31
2.2.1.3. Camada de Internet	31
2.2.1.4. Camada de Interface de Rede	32
2.3. VOZ SOBRE IP	32

2.3.1.	CODEC	34
2.3.2.	QoS	35
2.3.3.	Protocolos	36
2.3.3.1.	H.323	37
2.3.3.2.	SIP	37
2.3.3.3.	IAX	38
2.4.	SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO	39
2.4.1.1.	<i>Firewall</i>	39
2.4.1.2.	Criptografia.....	40
2.4.1.3.	VPN	40
2.5.	ASTERISK	41
2.5.1.	Arquitetura do Asterisk.....	43
2.5.1.1.	Canais	43
2.5.1.2.	Protocolos Asterisk.....	44
2.5.1.3.	CODECs Asterisk.....	45
2.5.1.4.	Aplicações do Asterisk	45
2.5.1.5.	Hardware de Telefonia para o Asterisk	46
2.5.1.6.	Hardware Mínimo Requerido	47
2.5.1.7.	Sistema Operacional	48
3.	CENÁRIO.....	49
4.	SOLUÇÕES.....	54
4.1.	SOLUÇÃO EM HARDWARE.....	55
4.1.1.	MX-ONE.....	55
4.1.2.	A SOLUÇÃO SUGERIDA.....	57
4.2.	SOLUÇÃO EM SOFTWARE LIVRE	61
4.2.1.	O Asterisk	61
4.2.2.	A SOLUÇÃO ESCOLHIDA	63
5.	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

ANEXO A – Tabela Erlang B	71
---------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO

O sistema de telefonia padrão advém do século XIX com o surgimento das primeiras redes telefônicas. Desde então, este sistema foi evoluindo até chegar às atuais centrais telefônicas digitais [Soares 2008]. Apesar desta evolução, o sistema de telefonia convencional ainda apresenta algumas desvantagens com relação à utilização dos seus recursos, uma vez que o sistema é baseado em circuitos dedicados.

Por este motivo e também pelo crescente uso da Internet, procurou-se fazer uma rede única que fosse capaz de transmitir dados e voz através de uma única infra-estrutura de telecomunicações. A idéia dessa convergência apresenta várias vantagens, como o melhor aproveitamento dos recursos de telecomunicações existentes, possibilitando a transmissão de voz, vídeos e dados através da mesma infra-estrutura, barateando, assim, os serviços de telecomunicações.

As redes de telefonia convencionais foram desenvolvidas inicialmente para trafegar exclusivamente voz, enquanto as redes de dados são mais versáteis, suportando o transporte de outros tipos de informação. Protocolos como o SS7 (Sinalização por Canal Comum Número 7) [Davidson 2000], utilizado para a sinalização das chamadas na rede de telefonia pública, estão sendo substituídos por protocolos como o SIGTRAN (*Signalling Transport*) [IEC2 005] (SS7 sobre IP), H.323 e SIP (*Session Initiation Protocol*), que funcionam em redes TCP/IP (*Transfer Control Protocol/Internet Protocol*) [Davidson 2000]. Além disso, sistemas proprietários que rodam as aplicações PBX (*Private Branch Exchange*) estão sendo substituídos por aplicações que rodam em sistemas operacionais conhecidos, como o Windows e o Linux.

Com o intuito de desenvolver um sistema capaz de manter as funcionalidades do atual sistema legado e fazer a convergência entre a rede de telefonia e a rede de dados, seguindo as principais tendências de mercado [Walsh 2005], foi proposto um *upgrade* da atual central telefônica de uma instituição utilizando a tecnologia de Voz sobre IP – VoIP.

1.1. MOTIVAÇÃO

O projeto VoIP em instituições públicas vem se mostrando, a cada dia, ser de fundamental importância para a evolução constante dos sistemas de telecomunicações a elas pertencentes. Um estudo realizado pela *Infonetics Research* aponta que o crescimento de tecnologias VoIP se deve, principalmente, à adesão de grandes empresas, das quais, no ano de 2006, cerca de 36% já utilizavam essa tecnologia. Nas pequenas empresas a adesão era de cerca de 15% com expectativa para que esse percentual seja triplicado até 2010 [Greene 2006].

No Brasil, as instituições públicas vêm adotando o uso dessa tecnologia para cortar gastos com telefonia. Dados obtidos no Sistema Integrado de Administração Financeira do Governo Federal (Siafi) mostram que a união gasta mais de R\$700 milhões por ano com telefonia. Esses custos poderiam ser reduzidos fortemente com o uso da tecnologia VoIP. Em matéria publicada pelo jornal O Globo, o Ministro das Comunicações, Hélio Costa, informou que pretende propor ao presidente Luis Inácio Lula da Silva a adoção de sistemas de voz sobre IP para, segundo ele, reduzir até 50% os gastos com telefonia da União [Tavares 2007]. Em Brasília, já foi implantada uma *infovía* que liga todos os ministérios com o intuito de zerar os custos com ligações entre os mesmos. A tendência, então, é que as instituições públicas venham a adotar cada vez mais o uso dessa tecnologia para baratear os custos com telefonia.

A motivação deste trabalho se baseia em alguns pontos importantes. O assunto é muito importante no mercado de trabalho moderno. As comunicações por voz sempre foram chaves nos contatos entre instituições e, por isso, deve ser estudado. A constante evolução que esta tecnologia sofre acaba fomentando mais o desenvolvimento de estudos nesta área, já que é um assunto pouco estudado academicamente.

1.2. PROBLEMA

No cenário proposto, encontramos uma necessidade de migrar o sistema para um sistema baseado em aplicações IP. Esta migração possibilitaria uma nova gama de recursos e possibilidades de desenvolvimento de novas facilidades para o sistema de comunicação. Além disso, era importante manter o sistema atualmente presente. Os altos investimentos iniciais

para implantação do atual sistema não permite que este seja descartado neste processo de migração. O sistema legado deve se manter operante e, de forma completamente transparente, deve interagir com a ampliação a ser feita na centra.

O problema de custo deve ser levado em conta também. A atual conjuntura financeira que o mundo passa, leva a uma necessidade de sempre se gastar o mínimo possível para se fazer determinada coisa. No caso do cenário proposto, este fator deve ser levado em conta com o intuito de minimizar não só os custos iniciais com a migração, mas também os futuros custos operacionais.

1.3. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é, então, desenvolver distintas soluções para a integração do sistema atual com o novo sistema ampliado. A migração pro mundo IP se daria através de uma ampliação da central existente. Por isso, é necessário desenvolver diferentes maneiras de se fazer esta ampliação.

Após a delimitação de diferentes soluções, deve ser definida a melhor maneira de fazer esta convergência para manter uma interoperabilidade transparente para ambos os sistemas. Este é o objetivo principal deste trabalho.

1.4. RESULTADOS ESPERADOS

Por fim, pretende-se indicar um modelo de integração que melhor se adéqüe à realidade da instituição.

1.5. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos traçados, algumas metodologias foram trilhadas. Primeiramente foi feito um estudo teórico acerca do assunto. Esta revisão de literatura é de

fundamental importância para o bom desenvolvimento de todo e qualquer trabalho acadêmico.

Em seguida foi feito um estudo técnico da central telefônica do cenário em questão. Com o estudo do PABX instalado na instituição, foi possível entender melhor o problema e traçar os melhores caminhos a se seguir para alcançar a convergência proposta.

Uma pesquisa de campo foi feita para se saber quais os verdadeiros requisitos do sistema ampliado. Para isso foram feitas pesquisas com pessoal e uma análise do tráfego a ser ofertado pelo sistema ampliado.

Após essas etapas e concluídos os objetivos, a apresentação da solução indicada foi feita para expor os caminhos e as características que cada tipo de solução traz.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho foi dividida em 5 (cinco) capítulos. No capítulo 1 (um) foi feita uma introdução contendo uma breve revisão teórica dos sistemas de telefonia, bem como a descrição do problema a ser resolvido, traçando os objetivos principais deste trabalho. Para que seja realizado o estudo em questão é necessário que inicialmente se tenha o conhecimento básico necessário dos principais protocolos e estruturas de redes que compõem o cenário em questão. Além disso, é necessário o entendimento de alguns conceitos presentes na tecnologia VoIP para melhor entendê-la. Essa revisão teórica é feita no capítulo 2 (dois).

No capítulo 3 (três) é feita a descrição do cenário proposto. Neste capítulo é mostrada a arquitetura do sistema presente atualmente na Câmara dos Deputados. O tipo de equipamento, as demandas de tráfego, dentre outras características importantes para o pleno desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 4 (quatro) são apresentadas as soluções possíveis para o sistema em questão. Neste capítulo são apresentados os dois tipos básicos de soluções: uma solução em Hardware, utilizando um equipamento do mesmo fabricante do atual sistema da instituição, e uma solução alternativa baseada em *software*, utilizando um *software* livre que desempenha a função de um PABX (*Private Automatic Branch Exchange*) usando a rede IP (*Internet Protocol*) para prover os serviços requeridos. Nesta última, foi utilizado o *software* Asterisk,

por este ser muito estudado internacionalmente e constantemente utilizado nestas situações. Por fim, são feitas comparações entre os dois tipos de soluções.

Para finalizar o trabalho, no capítulo 5 é apontada a solução considerada como sendo a que melhor se encaixa ao cenário proposto. Além disso são feitas as considerações finais do trabalho estudado.

2. CONCEITOS TEÓRICOS

Nessa seção será apresentada uma breve descrição dos temas estudados no trabalho para auxiliar no estudo de uma solução para uma possível ampliação de uma Central Telefônica Privada. São eles: Rede de Telefonia Fixa Comutada (RTFC), Rede de Comutação de Pacotes, Voz sobre IP (VoIP), Segurança da Informação e o *software* Asterisk.

2.1. REDE DE TELEFONIA FIXA COMUTADA

A Rede de Telefonia Fixa Comutada (RTFC) surgiu da necessidade de se criar um sistema que suportaria a transmissão de voz em longas distâncias. A RTFC corresponde basicamente a Centrais Telefônicas ligadas entre si e também a terminais telefônicos pertencente a usuários (assinante) [Colcher 2005], seja ele um usuário comum ou mesmo um usuário pertencente a um PABX.

A Figura 2.1 representa uma configuração básica de uma Rede de Telefonia Fixa Comutada:

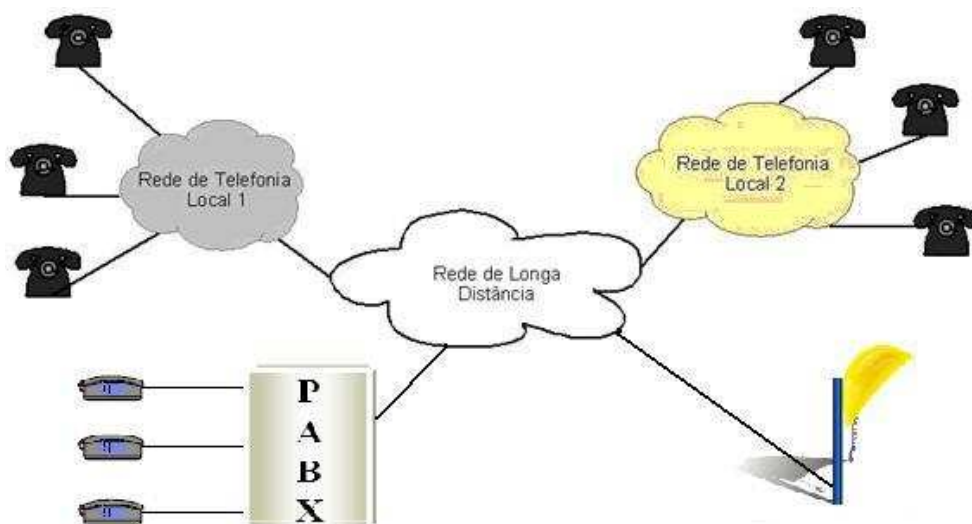


Figura 2.1 - Configuração Básica de uma RTFC Fonte: [Modificado de Silva 2008]

2.1.1. Rede de Acesso

A Rede de Acesso é um subsistema da Rede de Telefonia Fixa. Ela interliga todos os usuários – assinantes convencionais, corporativos (PABX) e Terminais de Uso Público (TUP) – à Central Telefônica. É formada por linhas telefônicas (acessos), isto é, um par de cabos de fios metálicos ou fibra óptica para cada um dos usuários [Jeszensky 2003].

Existe ainda uma técnica mais recente de acesso através de uma rede sem fio, onde são utilizados aspectos parecidos com os do Sistema de Celular. Nessa técnica a Central Telefônica se liga a uma Estação Rádio Base (ERB) e essa, por sua vez, transmite a informação para o usuário através de um terminal com suporte para um acesso sem fio. O sistema usado nesse tipo de acesso é o *Wireless Local Loop (WLL)*, que pode fornecer comunicação entre localidades em um raio de cerca de 50 km no caso do *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, WiMAX, por exemplo [Prado 2006].

2.1.2. Rede de Comutação

É um segundo subsistema pertencente à Rede de Telefonia Fixa de Comutação. A ela pertencem os equipamentos que irão definir os caminhos utilizados para possibilitar a comunicação entre os usuários. É composta por elementos de Redes chamados de Centrais de Comutação. Essas Centrais de Comutação estão representadas na Figura 2.2 e descritas a seguir.

2.1.2.1. Central Local

Central que possui conexão direta com os assinantes. Ela pode se ligar a outras Centrais Locais através de Centrais Tandem, ou por conexões diretas, através de troncos. O número pertencente ao assinante é composto por um prefixo indicativo da Central Local, geralmente os quatro primeiros dígitos do telefone, e uma parte que representa cada terminal de assinante, os quatro últimos. Quando se deseja fazer ligações para fora da região local, como, por exemplo, chamada nacional ou internacional, é necessário digitar códigos adicionais –

códigos de área internacional, código de área nacional e código de prestadora de serviço de longa distância [ANATEL 1998].

2.1.2.2. Central Tandem

Em certas regiões, principalmente as de grande crescimento urbano, são construídas Centrais Tandem, que ligam as Centrais Locais às Centrais de Trânsito. Esse tipo de recurso é usado para otimizar o encaminhamento das chamadas telefônicas. Essas Centrais podem ser comparadas às Centrais de Trânsito quando se trata do aspecto de interligar centrais de comutação entre si. Existem ainda Centrais que desempenham a função tanto de Central Local como de Central Tandem. São as chamadas Centrais Mistas.

2.1.2.3. Central Trânsito e Central Trânsito Internacional

Centrais que não possuem ligação direta com os terminais do assinante. São organizadas hierarquicamente de forma que a Central de Trânsito Internacional é a de mais alta hierarquia e comuta as chamadas entre diferentes países, já a Central de Trânsito comuta chamadas originadas em locais relativamente mais próximos, como, por exemplo, cidades e estados [Jeszensky 2003].

2.1.2.4. Rede de Transmissão

É a rede composta de sistemas de transmissão, que podem ser físicos ou não, como, por exemplo, cabos coaxiais e fibras ópticas ou o espaço livre, por onde são realizadas interconexões entre centrais de comutação através de enlaces de microondas, por exemplo [Rappaport 2002]. O meio de transmissão é composto por toda a estrutura que participa do transporte das informações entre a central de origem da chamada até a central em que se encontra o assinante de destino. Como exemplo dos equipamentos da estrutura pode-se citar:

telefone, linha de assinante, percurso dentro da central telefônica, linhas físicas, rádio, entre outros.

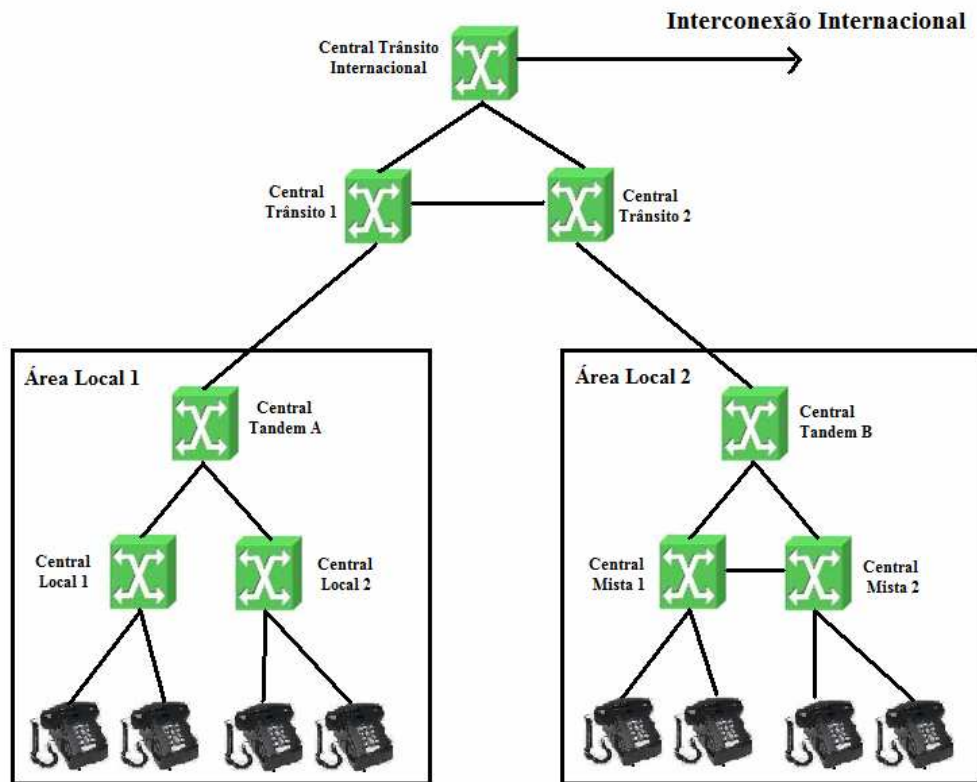


Figura 2.2 - Centrais de Comutação.

2.1.3. Sinalização por Canal Comum Número 7

Além dos subsistemas descritos acima existe outro tipo de subsistema responsável pela inteligência de comunicação entre os elementos da rede de telecomunicações. É um tipo de sistema usado na telefonia que reserva um canal por onde irá trafegar somente informações relativas à sinalização para a realização de chamadas, isto é, dentre os canais disponíveis em um tronco, destina-se um canal exclusivamente para transmissão de sinalização.

As informações que trafegam por esse canal são basicamente sinais que permitirão o estabelecimento da conexão, sinais de controle e gerência da rede e dados sobre a tarifação. Todos esses dados são transmitidos de acordo com protocolos padronizados pelo *International Telecommunication Union*, ITU [Colcher 2005].

Entre as vantagens que o sistema possui, podemos apontar:

- O tempo de estabelecimento de chamada é reduzido, já que a sinalização passa a não interferir intrinsecamente no canal de conversação;
- Diminui as possibilidades de fraude já que o usuário não tem acesso ao canal de sinalização;
- Os sinais trafegam de maneira mais rápida (pouco *delay*);
- Constitui ferramenta que introduz redundância para detecção e correção de erros;

2.1.4. Centrais Privadas de Comutação Telefônica

Com a constante evolução dos sistemas de comunicações, a necessidade de se ter um meio viável e eficaz de manter contato com clientes e filiais fez com que a tecnologia para a telefonia privada se desenvolvesse ao longo dos últimos anos. Na década de 80 surgiu a idéia de um *Private Branch Exchange*, PBX, e em seguida o *Private Automatic Branch Exchange*, PABX. Se tratando na prática de uma central telefônica privada, os PABX's eram inicialmente muito limitados tanto em relação aos computadores quanto aos microprocessadores, não havendo sequer uma rede de dados sólida ainda [Sato 2004].

Tradicionalmente, a arquitetura de um PABX tem a estrutura apresentada na Figura 2.3. O controlador de processo executa o software de comunicação, responsável por todas as funcionalidades do sistema. Os dispositivos de ponta são os ramais utilizados pelos usuários finais. Existem basicamente dois tipos de dispositivos: os ramais digitais e os ramais analógicos. Os módulos são responsáveis pela ligação do PABX com o Serviço Telefônico Fixo Comutado, STFC, além de servir de interface entre os dispositivos de ponta e a central em si. O módulo de interconexão permite a interconexão de portas de diferentes módulos.

Com o desenvolvimento tecnológico nos últimos anos, surgiram novas aplicações e novos tipos de dispositivos de ponta. Dentre eles, destacam-se os ramais IP e os ramais móveis. Estes utilizam uma rede sem fio para acessar a central telefônica. Aqueles utilizam a própria rede estruturada de internet para acessar o PABX [Sato 2004].

Arquitetura de um PABX Tradicional

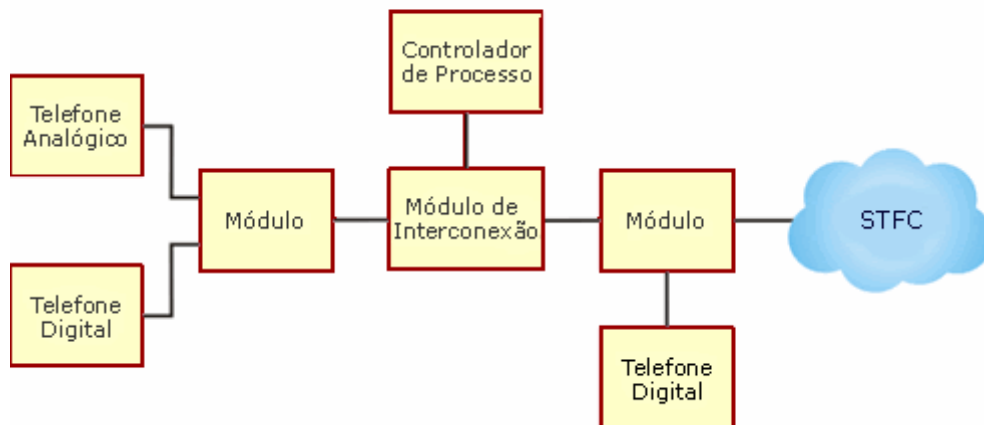


Figura 2.3 - Arquitetura de um PABX Tradicional. Fonte: [Sato 2004]

2.1.4.1. Protocolo Q-SIG

O Q-SIG (Sinalização-Q), conhecido internacionalmente pelo nome de *Private Signaling System Number1* (PSS1), é um sistema de sinalização que interliga as mais diversas redes corporativas [Davidson 2000]. Algumas das características do sistema de sinalização global Q-SIG são:

- Seus padrões permitem a interconexão de equipamentos dos mais diversos fornecedores;
- Permite a que haja operações entre PBXs para serviços básicos, transparência para facilidades e para serviços suplementares;
- Opera entre redes ISDN (*Integrated Services Digital Network*) públicas e privadas;
- Além da compatibilidade com vários tipos de PBX, pode também operar com qualquer topologia de rede desejada;
- Não possui restrições em relação aos planos de numeração privados;

O protocolo suporta vários tipos de serviços para redes PBX corporativas. Entre eles, estão os três principais que são [Davidson 2000]: Serviço básico (Q-SIG BC – *Basic Call*) que fornece capacidade de estabelecer, gerenciar e finalizar uma chamada. Alguns exemplos desse serviço incluem voz, áudio 3.1kHz e 64kbps não restrito. O segundo serviço é o

chamado Q-SIG GF – *Generic Function*, que é um método padronizado para o transporte de facilidades não padronizadas, trazendo assim, transparência para facilidades implantadas. O serviço permite a troca de informações de sinalização para controle de facilidades adicionais e suplementares de rede sobre redes corporativas. E terceiro são os serviços suplementares, que inclui os serviços e facilidades adicionais de rede, que funcionam completando, identificando, transferindo e dando seguimento a chamadas, além de chamada em espera e aviso de cobrança.

2.1.5. Engenharia de tráfego

Em sistemas de comunicações existe um determinado número de usuários e um determinado número de troncos, que possibilita realizar ligações através de seus canais. Um tronco pode ser constituído de vários canais. No caso de um enlace E1, por exemplo, existem 32 canais de comunicação, sendo 30 canais para transmissão da informação desejada e 2 para sinalização e controle. Uma das principais características dos sistemas de comunicações é que nem todos os usuários estão efetuando ou recebendo ligações ao mesmo tempo. Um dos principais preceitos em engenharia de telecomunicações é determinar o número de troncos requeridos em uma rota ou comunicação entre duas centrais telefônicas; fixas ou móveis para prover certo Grau de Serviço (GoS, do inglês *Grade of Service*) [Garg 2006]. Grau de serviço é uma espécie de medida de qualidade de rede. Nada mais é que uma probabilidade de bloqueio, dado um número de canais existentes e demanda de tráfego requerido.

O conceito de tráfego surge da idéia de tempo cursado por tempo disponível (Erlang). Por exemplo, se no intervalo de uma hora de conversa, um usuário utiliza o canal durante todo o tempo temos: $A = 1(\text{tempo utilizado})/1 (\text{tempo disponível})$, o que leva a um tráfego de 1 Erlang. Na prática, cada usuário usa durante pouco tempo um determinado canal, o que possibilita um sistema de múltiplo acesso de todos os usuários a um número reduzido de canais.

Na teoria de tráfego telefônico, se aceita que a chegada ou demanda por serviço ou canal obedece a uma distribuição de Poisson; os tempos de retenção de um canal seguem uma distribuição exponencial e para a maioria dos casos, o bloqueio de chamadas por falta de canais gera perda de chamada. Um bloqueio de chamada vai ocorrer sempre que um usuário tentar acessar um canal e não tiver canal disponível naquele momento. É possível modelar os

eventos de chegada, saída e retenção de acordo com uma cadeia de Markov, com nascimentos e mortes [Yacoub 1993].

Em 1908, Agner Karup Erlang, funcionário de uma companhia telefônica desenvolveu uma fórmula para solucionar os problemas da quantidade de canais necessários para interconexão entre duas centrais. Esta fórmula, conhecida como Erlang B é apresentada na Equação 2.1.5.1, onde A representa o tráfego oferecido, N o número de canais para escoar o tráfego e P_b é a probabilidade de bloqueio.

$$P_b = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{i=0}^N \frac{A^i}{i!}} \quad (2.1)$$

Para reduzir a dificuldade em realizar os cálculos com esta fórmula, foram elaboradas tabelas, onde, dado o bloqueio e o número de canais, se obtém o tráfego suportado. Estas tabelas, conhecidas como tabelas de Erlang são apresentadas no Anexo A.

2.2. REDE DE COMUTAÇÃO DE PACOTES

Originalmente desenvolvidas para o tráfego de voz, as redes de telecomunicações tinham por característica o uso exclusivo dos canais por cada usuário. As chamadas redes dedicadas ainda compõem boa parte do sistema telefônico atual, no qual um canal de 64Kbps é alocado temporária e exclusivamente para um usuário durante uma ligação.

Quando se trata de transporte de voz, o tipo de sistema descrito acima é bastante eficiente, principalmente porque em uma chamada como essa os usuários tendem a manter um alto nível de conversação durante todo o tempo. Em uma chamada, a conectividade é mantida continuamente e dedicada exclusivamente a essas chamadas, independentemente de a vocalização estar ativa ou não [Soares 2008].

Mas quando se trata de transporte de dados, esse tipo de sistema apresenta um grande desperdício de largura de banda por existir uma extensa variação do tráfego de dados ao longo do tempo, o que minimiza a taxa de ocupação de um canal. O circuito dedicado é, então,

ineficiente para o tráfego de dados e surge a necessidade de se otimizar essa ocupação de canal para minimizar os custos com a rede física [Soares 2008].

A Comutação de pacotes é uma técnica de transmissão de mensagens que são fragmentadas em unidades menores, chamadas de pacotes, e enviadas pela rede. Inicialmente, cada host desse novo tipo de rede teria seu próprio roteador. Nesse protótipo, cada nó tem como filosofia a conexão com mais de um ponto, sendo que no caso de queda de uma conexão, caminhos alternativos podem ser encontrados para a comunicação. A construção desse protótipo resultou em uma rede denominada ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*), considerada, hoje, a primeira rede de comutação de pacotes e a predecessora da internet [Soares 2008].

Os pacotes se deslocam pela rede de nó a nó, ao contrário do deslocamento fim a fim da comutação por circuito. Esses nós são formados por elementos de redes, chamados de roteadores, cada um deles possui tabelas com as rotas que podem ser seguidas e as informações sobre elas. Como cada pacote pode individualmente percorrer diferentes rotas, é comum haver um atraso em relação aos diferentes pacotes que compõem a mensagem, ou até mesmo esses pacotes chegarem em uma sequência diferente da que foram enviados, e é por isso, que ao chegar ao destinatário, os pacotes recebem um tratamento de reconstrução da mensagem original que é possível graças às informações de controle encontradas no cabeçalho de cada um.

Nas redes comutadas a pacote são utilizadas dois tipos de técnicas para o transporte de pacotes: técnica por datagrama e por circuito virtual [Stallings 1997].

Na técnica por datagrama, cada pacote recebe tratamento individual, isto é, cada um deles poderá percorrer a rede por caminhos diferentes que são independentes uns dos outros. E quem decide o caminho percorrido por cada um são os elementos de rede localizados nos nós encontrados.

Na técnica de circuito virtual, o caminho percorrido por todos os pacotes é pré-estabelecido. Para isso, antes de iniciar a transmissão dos dados a estação de origem e a de destino trocam mensagens de controle que definirão a rota por onde todos os pacotes irão trafegar.

As vantagens da técnica por datagrama em relação à por circuito virtual é que ela está menos sujeita a problemas de conexão já que, caso haja algum problema em algum ponto da rede, os elementos de rede responsáveis pelo roteamento desviarão os pacotes para uma rota mais adequada, o que não acontece na outra técnica, que já tem uma rota pré-estabelecida.

A vantagem da técnica baseada em circuito virtual é o fato de que uma rota é estabelecida entre as estações antes da transferência de informações, o que garante uma maior eficiência na fase de troca de informações porque não há a necessidade de tomar decisões de roteamento a cada nó, e há a garantia de que os pacotes serão entregues na ordem em que foram enviados, condições estas básicas para que os circuitos virtuais emulem adequadamente os circuitos reais. A desvantagem relaciona-se à necessidade da sinalização para o estabelecimento da conexão e ao desperdício de recursos caso o circuito virtual tenha baixa taxa de utilização [Stallings 1997].

2.2.1. Protocolos TCP/IP e UDP

Com o intuito de possibilitar a troca de informações entre componentes de uma rede IP de diferentes fabricantes, a ISO – *International Organization Standardization* definiu um modelo de referência que deveria ser seguido por todos os protocolos de comunicação inter-redes. Esse modelo recebeu o nome de *Open System Interconnection* – OSI.

O desenvolvimento de um único protocolo que especificasse todos os detalhes necessários para o perfeito funcionamento das diversas formas de comunicação seria complexo e trabalhoso. Os projetistas decidiram, então, projetar protocolos específicos para cada parte, e para garantir que as partes funcionem em perfeita harmonia, em vez de desenvolvidos separadamente, os protocolos são projetados e desenvolvidos em conjuntos completos e cooperativos [Comer 1998]. Algumas dessas "famílias" de protocolos estão descritas a seguir:

TCP/IP é um grupo de protocolos que funcionam conjuntamente, estabelecendo comunicação e transferência de dados entre computadores conectados em rede [Soares 2008]. Os dois protocolos se complementam, isto é, o IP fará a identificação dos endereços e irá assegurar que os dados sejam enviados através do meio físico e o TCP, por outro lado, verifica se os dados chegaram integralmente ao destino.

O TCP funciona como uma biblioteca de rotinas instaladas nos computadores de origem e de destino que aplicações como HTTP (*Hyper Text Transmission Protocol*), Mail, entre outras, utilizam para o transporte de dados. O protocolo utiliza uma técnica de segmentação de dados e os transmite em blocos menores chamados pacotes ou datagramas. Essa técnica possibilita ao TCP verificar se os pacotes chegaram corretamente ao destino ou se ocorreu

alguma perda durante a transmissão, podendo fazer a retransmissão dos pacotes caso necessário. Ao contrário do TCP, o IP é um protocolo não-orientado a conexão, isto é, não há verificação de erro na transmissão, ele apenas desenvolve as funções de roteamento de pacotes pela rede. Este é responsável pelo transporte da mensagem entre redes e pela decisão de qual rota ela deve seguir através da estrutura do sistema para chegar ao seu destino [Soares 2008].

O desenvolvimento da arquitetura Internet TCP/IP foi patrocinado pela DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*). A arquitetura, como descrito anteriormente, baseia-se principalmente em um serviço de transporte orientado à conexão fornecido pelo TCP e um serviço de rede não orientado à conexão (datagrama não confiável) fornecido pelo IP. Ela é organizada em quatro camadas conceituais construídas sobre uma quinta camada que não faz parte do modelo, a camada intra-rede [Comer 1998]. Os protocolos divididos em camadas são projetados de modo que a camada n de destino receba exatamente o mesmo objeto enviado pela camada n de origem.

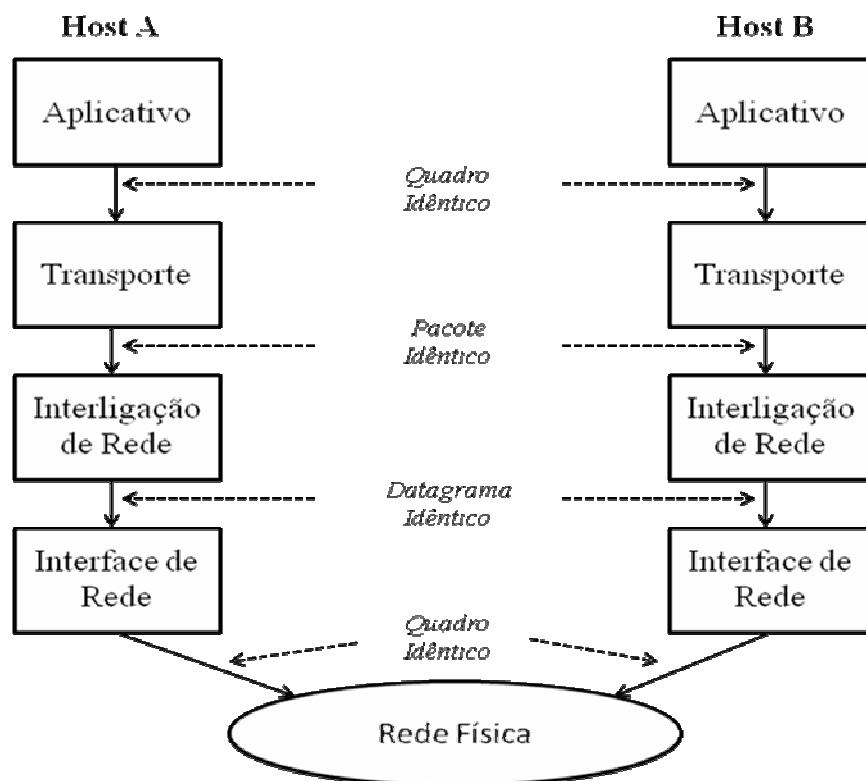


Figura 2.4 - Arquitetura do protocolo TCP/IP Fonte: [Modificado de Comer 1998]

2.2.1.1. Camada de Aplicativos

Essa é a camada que permite que usuários possam rodar os programas aplicativos que acessam serviços disponíveis. Um aplicativo interage com um dos protocolos dos níveis de transporte para enviar ou receber dados. Cada um dos programas aplicativos escolhe o tipo de transporte necessário, que poderá ser uma sequência de mensagens individuais ou um *stream* contínuo de bytes [Comer 1998].

2.2.1.2. Camada de Transporte

Após o tratamento na Camada de Aplicação, os dados passam para a Camada de Transporte, que possui como primeira função prover comunicação entre programas aplicativos, chamada de comunicação fim a fim. A camada utiliza protocolos que fornecem transporte confiável, assegurando que os dados cheguem íntegros e na sequência correta. Para isso, o protocolo de transporte permite que a parte receptora envie confirmações e o transmissor retransmita pacotes perdidos [Comer 1998].

2.2.1.3. Camada de Internet

É a camada que trata dos dados passados de uma máquina para outra. A Camada de transporte manda para a camada de internet um pedido de envio da mensagem junto com uma identificação da máquina para a qual o pacote deverá ser enviado. O pacote, então, é encapsulado em um datagrama IP, suas informações de cabeçalho são preenchidas e usa o algoritmo de roteamento para decidir se entrega o datagrama diretamente ou o envia para um roteador e passa para a interface de rede apropriada para a transmissão [Comer 1998].

2.2.1.4. Camada de Interface de Rede

A camada de interface de rede é considerada o nível mais baixo do software TCP/IP. Ela recebe os datagramas IP da camada de Internet e os envia através de uma rede específica. Para realizar essa função nesse nível, os endereços IP – que são endereços lógicos – são traduzidos para os endereços físicos dos hosts ou gateways conectados a rede, definida como camada de hardware [Lemos, 1995].

O UDP (*User Datagram Protocol*) tem como principal função multiplexar na origem e desmultiplexar no destino o acesso ao nível Inter-rede [Colcher 2005]. É bastante utilizado em aplicações em que a entrega rápida dos pacotes seja mais importante que a entrega confiável. Alguns exemplos para isso são aplicações de transmissão de voz ou de vídeo em que o atraso não é muito tolerável.

2.3. VOZ SOBRE IP

Acrônimo de *Voice over IP*, o VoIP, é uma tecnologia que permite a realização de chamadas sobre uma rede de dados IP como se estivesse usando a rede STFC. O surgimento dessa nova maneira de realizar ligações telefônicas vem redefinindo a arquitetura de um PABX, estagnada por muitos anos. Alguns componentes básicos da arquitetura de um sistema VoIP são citados a seguir [Soares 2008].

O controle de processo é um servidor cuja função é controlar todas as chamadas, desde seu estabelecimento até o processo de bilhetagem e controle de qualidade de chamada. Existem ainda os dispositivos de ponta, que são os telefones IPs ou *softphones*, que se conectam direta ou indiretamente a uma rede IP. Se conectados diretamente, necessitam de um endereço IP próprio. Caso sejam conectados indiretamente, o dispositivo que o interliga a rede passa a ter a função de controlar esse endereçamento. Outro componente com vital importância nos sistemas de comunicações são os chamados *Gateways*, com função de interligar diferentes tipos de mídia para a interconexão entre tecnologias diferentes para o mesmo serviço. No caso do VoIP, os *Gateways* têm a função de converter a sinalização e o canal de voz da rede IP para a STFC e vice-versa.

Apesar de toda praticidade, economia e abertura de um leque de novas possibilidades e facilidades, um sistema VoIP encontra diversos obstáculos para o seu bom funcionamento. As redes IP, projetadas inicialmente para tráfego exclusivamente de dados, não davam o devido suporte para aplicações em tempo real. Até hoje existem diversas dificuldades encontradas por essa tecnologia. Abaixo, estão descritos os principais problemas e as conseqüências para a transmissão de voz sobre uma rede IP.

Perda de pacotes – a rede IP pode perder pacotes de voz se a qualidade de rede for ruim, se houver congestionamento na rede ou se o *delay* for muito variado. Alguns CODECs, do inglês *Coder/Decoder*, são capazes de corrigir pequenos defeitos ocasionados pela perda de pacotes, mas grandes perdas podem causar “picotamento” na voz. A maior causa de perda de pacotes é o congestionamento da rede que pode ser resolvida com o uso adequado de QoS – *Quality of Service* [Soares 2008].

Delay – é o tempo que o pacote de voz leva para chegar da origem para o destino. O *delay* tem dois componentes:

- **Delay Fixo:** causado pelos processos de codificação e decodificação da voz analógica e pela propagação no meio. A ITU-T através do padrão G.114 define que em uma via de transmissão, o tempo de *delay* aceitável é de no máximo 150ms;
- **Delay Variável:** causado pelo congestionamento da rede e pela serialização dos pacotes nas interfaces de rede. A serialização é uma função dependente da velocidade do link e do tamanho do pacote. Por isso esse tipo é considerado variável, pois depende do tamanho do pacote que chega à interface para ser serializado.

Jitter – é a variação do *delay* da chegada dos pacotes no destino. Esse problema pode ser solucionado utilizando os *buffers* dos terminais de forma que iguale todos os *delays* dos pacotes. Mas se um pacote chegar muito atrasado em relação aos outros, os *buffers* não serão suficientes para corrigir o erro.

2.3.1. CODEC

Para contornar os problemas relacionados a atrasos e requisitos mínimos de banda, os sistemas de comunicações VoIP utilizam os chamados CODECs para digitalizar a voz de acordo com alguns parâmetros e/ou requisitos do sistema. Os CODECs são programas ou dispositivos com algoritmos de compactação e descompactação específicos para um determinado formato de arquivo.

Um CODEC é um programa ou dispositivo com algoritmos de compactação e descompactação específicos para um determinado formato de arquivo. O CODEC converte o vídeo e o som analógico em sinais digitais e depois os comprime para diminuir o tamanho dos arquivos.

Cada CODEC provê certa qualidade de voz, gasta uma determinada largura de banda e apresenta um *delay* durante o processamento. O balanço de todas essas características levará ao administrador escolher o CODEC com a melhor relação custo/benefício. Uma medida comum usada para determinar a qualidade do som produzido pelos CODECs específicos é o MOS (*Mean Opinion Score*). Com o uso do MOS, uma ampla quantidade de ouvintes julgam a qualidade de uma amostra de voz numa escala de 1 a 5. A partir desses resultados, é calculada a média dos valores para atribuir o MOS para aquela amostra [CISCO-CODEC, 2005]

Na Tabela 2.2 são apresentados alguns valores do MOS e do *Delay* para alguns CODECs específicos.

Tabela 2-1 - Dados relativos a cada tipo de CODEC

Método de Compressão	Largura de Banda (kbit/s)	Valor MOS	<i>Delay</i> (ms)
G.711	64	4.1	0.75
G.726	32	3.85	1
G.728	16	3.61	3 a 5
G.729	8	3.92	10
G.729 ^a	8	3.7	10
G.723.1	6.3	3.9	30
G.723.1	5.3	3.65	30

2.3.2. QoS

Uma das principais funções da camada de transporte, citada na seção 2.2.1.2, é aumentar a qualidade de serviço (QoS) fornecida pela camada de rede [Lemos 1995]. A QoS pode ser definida por uma quantidade específica de parâmetros definidos na recomendação I350 (ITU I350, 1993) como a habilidade da rede ou dos componentes da rede para prover funções relacionadas à comunicação entre dois usuários.

Entre os parâmetros mais utilizados de qualidade de serviço, alguns já citados na introdução sobre VoIP, estão [Kamieniski 2000]:

- Vazão, caracterizada como a taxa de bits transmitida por segundo [Lemos 1995];
- Latência, que pode ser entendida como o somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação;
- *Jitter*, pode ser entendido como a variação no tempo e na sequência de entrega das informações;
- Taxa de Perdas, Taxa de Erros;
- Disponibilidade, que é uma medida da garantia de execução da aplicação ao longo do tempo.

A QoS é muito importante em redes onde há a convergência entre voz e dados pois, assim como em qualquer outro tipo serviço oferecido, é indispensável um nível aceitável de qualidade para garantir o conforto e satisfação do usuário.

2.3.3. Protocolos

A premissa básica do VoIP é a do empacotamento de fluxos de áudio através de protocolos da Internet. Os desafios em relação a isso vieram em razão do modo como as pessoas se comunicam, isto é, a informação não só deve chegar do mesmo da mesma forma que foi transmitido, mas é necessário que ele faça isso em menos de 150 milissegundos [Meggelen 2007]. Se pacotes forem perdidos ou chegarem atrasados haverá uma degradação da qualidade da comunicação, o que significa que duas pessoas terão dificuldade de realizar uma conversa.

Os protocolos de transporte, que são coletivamente chamados de “a Internet”, não foram originalmente concebidos para transportar fluxos de mídia no chamado “tempo real”. Em um sistema de comunicação como esse, os terminais de comunicação foram desenvolvidos levando em conta transmissões em que alguns pacotes demorariam mais tempo pra chegar ou casos onde haveria a necessidade do envio de mensagens com pedidos de retransmissão, ou simplesmente aceitar a informação incompleta. Em uma típica conversa de voz, entretanto, esse mecanismo pode não funcionar com a qualidade desejada, conversas desse tipo não se adaptam muito bem a perdas de letras ou palavras, nem a atrasos entre os terminais de comunicação [Meggelen 2007].

A RTFC foi projetada especificamente para transmissão de voz e é perfeitamente adequada para esta tarefa do ponto de vista técnico. Já do ponto de vista da flexibilidade, suas falhas são evidentes. Já o VoIP mantém a promessa de integrar a transmissão de voz aos protocolos que fazem parte da rede de pacotes.

Os mecanismos para o transporte de uma ligação VoIP geralmente envolvem uma série de trocas de sinais entre os terminais (e os *Gateways*) que culminam em dois diferentes fluxos de mídia carregando as mensagens enviadas. Existem vários protocolos para lidar com isso [Meggelen 2007]. Nessa seção, serão descritos alguns daqueles que são mais importantes para o VoIP, e especificadamente para o Asterisk – *software* que será apresentado na seção 2.5.

2.3.3.1. H.323

O H.323 é um protocolo que foi originalmente criado para fornecer um mecanismo de transporte IP para videoconferências. Tornou-se então o padrão básico para equipamentos de videoconferência, e logo ganhou fama de protocolo para o sistema VoIP. Entretanto, após muitos debates sobre qual dos protocolos (SIP, IAX ou H.323) iria dominar os sistemas VoIP, com o surgimento do Asterisk, ele foi fortemente rejeitado[Meggelen 2007].

2.3.3.2. SIP

Definido através da recomendação RFC 2543 [Handley Et Al 1999], o SIP é um protocolo do nível de aplicação que permite o estabelecimento, gerenciamento e encerramento de sessões multimídia, como, por exemplo, chamadas telefônicas através da rede IP.

O SIP se tornou um protocolo mais atraente para sistemas de telefonia IP, por ser um protocolo relativamente simples, principalmente quando se compara com o H.323, e possui uma sintaxe semelhante à de protocolos mais familiarizados no ambiente de comutação de pacotes, como HTTP e SMTP - *Simple Mail Transfer Protocol*.

É um protocolo que normalmente trabalha conjuntamente com outros protocolos, tais como [Colcher 2005]:

- MGCP (*Media Gateway and Control Protocol*), utilizado para controlar *gateways* de mídia sobre redes IP;
- MEGACO – *Media Gateway Control Protocol*, que se trata de um protocolo de sinalização utilizado entre *Media Gateways* e *Media Gateways Controllers*, sendo uma versão desenvolvida a partir do MGCP, mas que possui mais recursos;
- RTP e RTCP (*Real Time Protocol* e *Real Time Control Protocol*), que são usados para transportar dados e monitorar esse transporte;
- RTSP (*Real-time Streaming Protocol*), usado para a distribuição de conteúdo;
- SDP (*Session Description Protocol*), que especifica o formato para a descrição das informações em sessões multimídia.

O protocolo SIP possui dois tipos de agentes: os agentes usuários (UA – User Agent) e os servidores de rede [Gonçalves 2006]. Os agentes usuários podem ser divididos em agentes

usuários clientes (UAC – User Agent Client) e agentes usuários servidores (UAS – User Agent Server).

Os chamados de clientes são aqueles que fazem uma chamada SIP para outro terminal. E os chamados servidores são aqueles que recebem a ligação de outro terminal. Os usuários SIP podem exercer ambas as funções. Alguns exemplos que podem ser citados de agentes usuários são: Telefones IP, Softphones e Gateways.

Os servidores de rede SIP, são divididos em quatro tipos distintos:

- **Proxy Server:** é responsável por intermediar as chamadas, recebendo as requisições do UAC e encaminhando para o UAS. Esse tipo de procedimento ajuda na segurança do sistema, pois, um cliente não saberá o endereço IP do outro. Além disso, ele exerce algumas funções de roteamento, controle de acesso a rede e autenticação.
- **Redirect Server:** é um servidor que fornece informações ao cliente sobre o endereço IP do servidor.
- **Register Server:** responsável por registrar todos os clientes SIP que solicitam autenticação.
- **Servidor de Banco de Dados:** é o local onde são armazenadas as informações de identificação do cliente, como *login*, senha, ramal, endereço IP.

2.3.3.3. IAX

É um protocolo desenvolvido pela *Digium*, criadora e desenvolvedora do Asterisk, com a finalidade de possibilitar a comunicação entre servidores do Asterisk, daí o nome IAX – *Inter-Asterisk Exchange Protocol*. Oficialmente, a versão atual é IAX2, pois o apoio ao desenvolvimento do IAX foi retirado, o que fez com que os dois termos sejam usados para a mesma versão [Meggelen 2007].

É importante enfatizar que apesar do que foi dito anteriormente, o IAX não é um protocolo limitado somente ao Asterisk, mas, seu padrão é livre a utilização de qualquer pessoa e é suportado por vários outros projetos de telecomunicações. Este é um protocolo de transporte parecido com o SIP que usa uma única porta UDP tanto para o canal de sinalização quanto para fluxos de mídia.

O IAX também tem capacidade de truncar múltiplas sessões em um único tronco de fluxo de dados, o que pode ser uma vantagem em relação à largura de banda quando são enviadas mensagens por diferentes canais simultaneamente para um mesmo receptor remoto. O truncamento permite que múltiplos fluxos de mídia possam ser representados por um único cabeçalho de datagrama, o que diminui o *overhead* associado a cada um dos canais, além de diminuir a latência e reduzir a potência e a largura de banda requerida.

2.4. SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO

Uma grande preocupação que existe na maioria dos sistemas corporativos onde há um tráfego de informações confidenciais é manter certo grau de segurança para que essas informações não sejam extraviadas. Algumas das possibilidades existentes para se proporcionar isso foram descritas nos tópicos a seguir.

2.4.1.1. Firewall

É definido como a barreira inteligente entre duas redes, geralmente uma rede local e a Internet, através da qual o tráfego de informações é autorizado [Hazari 2000].

Esse dispositivo que, normalmente, é uma combinação de *software* e *hardware*, exerce a função de negar acessos através da implementação de filtros nas camadas 3 e 4 do modelo OSI [Colcher 2005].

Alguns tipos de *firewall* são:

- De filtro – à medida que os pacotes são transmitidos da camada de enlace (camada 2 do modelo OSI) para a camada de rede (camada 3 do modelo OSI), eles serão analisados e, de acordo com algumas regras adotadas, podem, por exemplo, ser descartados, negados, ou ter seu acesso permitido.
- De *proxy* – é um *software* que atua como intermediário entre um cliente e um servidor. Ele fica responsável por receber requisições dos clientes, refazê-las e repassar as respostas de volta aos clientes.

Para uma proteção mais eficiente contra ameaças a um sistema, podem ser usados outros mecanismos descritos nos próximos tópicos.

2.4.1.2. Criptografia

Criptografia é o nome dado a técnica de utilizada para transformar dados em um código secreto [Cobb 2004]. Para se decifrar a uma mensagem criptografada é necessário que se tenha uma senha ou chave secreta específica.

Os dois principais tipos de criptografia utilizam chaves simétricas e assimétricas. No caso dos algoritmos que utilizam a simétrica, os dados são cifrados e decifrados com a mesma chave secreta. Uma grande vantagem desse tipo de técnica é a grande velocidade de criptografia e seu maior problema é que as chaves estão mais expostas a mais pessoas, tornando sua administração mais difícil. Alguns exemplos de algoritmo que utilizam esse sistema são: DES (*Data Encryption Standart*) ou DEA (*Data Encryption Algorithm*), AES (*Advanced Encryption Standart*), IDEA (*International Data Encryption Algorithm*) e RC5 (*Rivest Cipher 5*) [Cobb 2004].

Já a criptografia assimétrica, também chamada de *Diffe-Hellman encryption* – por conta do nome de seus criadores Whitfield Diffie e Martin Hellman [Cobb 2004], utiliza duas chaves: a pública e a privada. Uma mensagem cifrada pela chave pública só pode ser decifrada pela sua respectiva chave privada e vice-versa. Além disso, uma chave não pode ser decifrada a partir da outra. A vantagem desse sistema em relação ao simétrico é sua maior facilidade na administração das chaves, já que caso a uma das chaves seja interceptada, o conteúdo da informação cifrada por ela não poderá ser decifrado. Por outro lado, a velocidade do processo de criptografia é menor. Alguns exemplos de algoritmo para essa técnica são: DAS (*Digital Signature Algorithm*) e PGP (*Pretty Good Privacy*) [Cobb 2004].

2.4.1.3. VPN

A VPN (*Virtual Private Network*) é uma rede privada de tráfego de dados que é construída através da utilização de uma rede pública, como, por exemplo, a Internet. Nesse

sistema uma rede pública é utilizada para a conexão de diferentes nós, ou redes, ao invés de links dedicados entre os mesmos [Cobb 2004].

A utilização da internet na conexão entre terminais de redes privadas é uma boa alternativa em relação à redução de custos, se comparado com *links* dedicados, porém fica mais frágil em relação aos fatores de segurança da informação.

Uma forma de aumentar a segurança das informações no trajeto pela rede pública é utilizar a criptografia. Um exemplo disso são as SVPNs (*Secure VPN*), elas funcionam como um túnel mais seguro criado entre os dois nós que utilizam a rede pública para se comunicar. Caso os dados sejam capturados, eles não poderão ser decifrados.

Alguns protocolos que podem ser usados nas VPNs são: IPSec (*IP Security*), SSL (*Secure Socket Layer*), TLS (*Transport Layer Security*) e PPTP (*Point-to-point tunneling protocol*) [Cobb 2004].

2.5. ASTERISK

Em 1999 foi criado pela Digium Inc. um *software* revolucionário no mercado de telecomunicações, o Asterisk. O *software* recebeu esse nome em analogia ao símbolo, *, que nos sistemas operacionais Unix e Linux representa um *wildcard* que equivale a qualquer caractere, qualquer arquivo. A analogia foi feita por ser, o Asterisk, destinado a integrar peças de telefonia, seja *hardware* ou *software*, a aplicações [Golçalves 2006].

O Asterisk possibilita a implementação de todas as funções de um PABX convencional e outras mais [Oliveira 2008]. É totalmente baseado em software livre e possibilita muitos benefícios devido ao seu suporte a diversos protocolos VoIP.

Além de substituir um PABX convencional, ele torna possível, a um baixíssimo custo, agregar funções disponíveis apenas em equipamentos PABX de grande porte, os quais custam algumas centenas de milhares de reais [Oliveira 2008].

Em uma comunicação VoIP existem vários agentes participantes de cada sessão. Esses agentes são, por exemplo, PCs (*Personal Computer*) – equipados com *Sofphones*, ou Telefones IP, que irão participar desse tipo de comunicação implementando uma pilha TCP/IP para poderem se comunicar via Internet.

Tratando de maneira simplificada, para que exista comunicação entre dois pontos de uma rede VoIP é usada uma combinação de dois elementos: um CODEC para codificação de áudio e um protocolo de sinalização capaz de lidar com questões relacionadas à sinalização de telefonia [Oliveira 2008]. O protocolo de mais difundido nesse setor atualmente é o SIP, graças às várias características já apresentadas na seção 2.3.3.2.

Algumas dessas funcionalidades acrescentadas pelo PABX IP que podem ser usadas principalmente em ambientes corporativos são [Gonçalves 2006]:

- Conectar funcionários trabalhando de casa com o PABX do escritório sobre conexões de banda larga;
- Conectar escritórios em vários estados sobre IP. Que pode ser feito através da Internet ou de uma rede IP privada;
- Construir aplicações de resposta automática por voz, que possibilitam a conexão do usuário ao sistema de pedidos, por exemplo, ou ainda outras aplicações internas;
- Dar acesso ao PABX da empresa para usuários que viajam, conectando sobre VPN de um aeroporto ou hotel, entre outras possibilidades.

2.5.1. Arquitetura do Asterisk

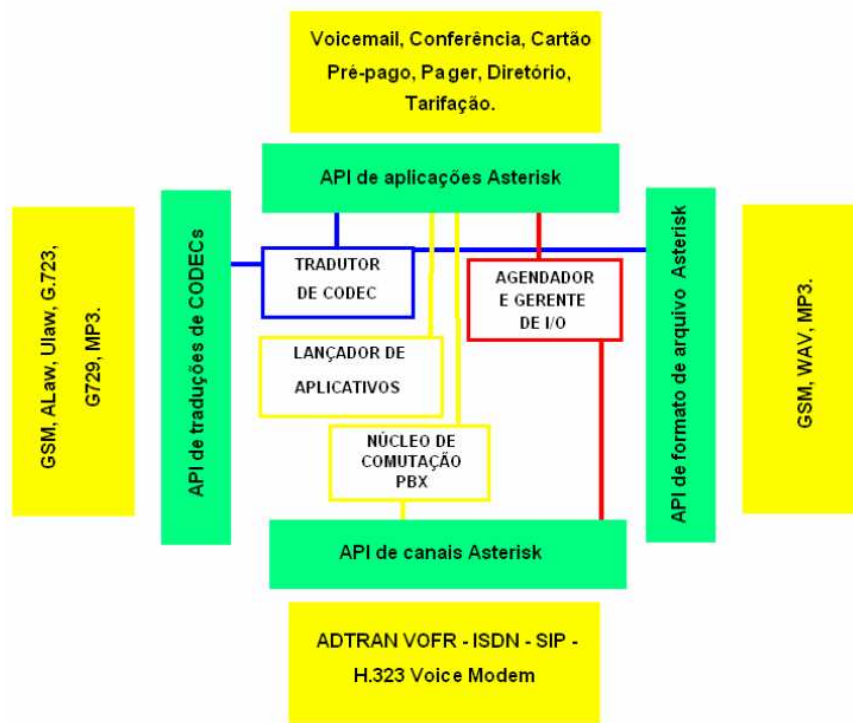


Figura 2.5- Arquitetura Asterisk – Fonte: [Gonçalves 2006]

Os conceitos relacionados com os elementos da Figura 2.5, da arquitetura do Asterisk, serão apresentados a seguir.

2.5.1.1. Canais

Um canal pode ser resumido como uma linha telefônica na forma de um circuito de voz digital. Ele geralmente pode ser visto como uma combinação de CODEC e protocolo de sinalização. Em sistemas digitais, que normalmente utilizam a técnica PCM (*Pulse Code Modulation*), os sinais analógicos são codificados em taxas de 64Kbps sem compactação [Gonçalves 2006].

No VoIP podem existir dois tipos diferentes de canais: os FXO (*Foreign Exchange Station*) e os FXS (*Foreign Exchange Office*). Eles representam interfaces responsáveis por permitir a comunicação entre os equipamentos VoIP e os de telefonia analógica. O FXS

fornece sinal para um telefone e pode ser ligado no tronco do PABX. Já o FXO recebe sinalização da operadora STFC, ou de um ramal da central PABX.

A Figura 2.6 apresenta ligações básicas com canais FXO e FXS.

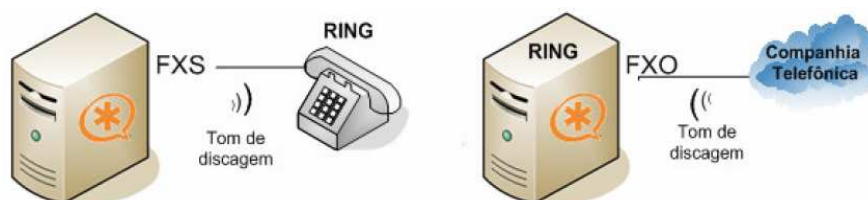


Figura 2.6- Ligação entre Canais FXO e FXS. Fonte: [Gonçalves 2006]

O Asterisk, do ponto de vista de canais, não diferencia o que é telefone ou linha telefônica, tudo é visto como um canal. Para o processamento desses canais de voz, o Asterisk utiliza a CPU (*Central Processing Unit*) do servidor, ao invés de usar um DSP (*Digital Signal Processing*) específico para cada canal. E, apesar de com isso ter reduzido os custos com as placas E1/T1, tornou o sistema muito dependente da CPU. Daí a necessidade de fazer um bom dimensionamento do sistema antes da implantação e, de preferência rodá-lo em máquinas dedicadas [Gonçalves 2006].

2.5.1.2. Protocolos Asterisk

Para que haja comunicação entre diferentes terminais é preciso de um protocolo de sinalização que estabeleça conexões, determine qual o ponto de destino, faça identificação de chamada, entre outras coisas. Hoje o protocolo mais usado entre os usuários de sistemas de redes IP é o SIP, embora o IAX tenha se mostrado cada vez mais forte, principalmente, quando se trata de *trunking* e NAT (*Network Address Translation*) [Gonçalves 2006]. Entre os protocolos que o Asterisk suporta estão:

- SIP
- H.323
- IAX
- MGCP

2.5.1.3. CODECs Asterisk

Em sistemas VoIP, um codificador pode ser descrito, de maneira mais simplificada, como um componente responsável por analisar os dados que chegam e determinar o que existe de redundante nessa informação digital que pode ser retirada durante o processo de conversação de maneira que não comprometa a qualidade da informação. O decodificador é responsável pelo processo inverso. Esse procedimento é realizado para reduzir o máximo possível a quantidade de banda necessária [R. Neto 2006].

Os CODECs suportados pelo Asterisk são [Gonçalves 2006]:

- G.711 ulaw – usado nos EUA – (64 Kbps)
- G.711 alaw – usado na Europa e no Brasil – (64 Kbps)
- G723.1 – (5.3 – 6 Kbps)
- G.726 – (32Kbps no Asterisk)
- G.729 – (8 Kbps)
- GSM – (12-13 Kbps)
- iLBC – (15 Kbps)
- LPC10 – (2.5 Kbps)
- Speex – (2.15 – 44.2 Kbps)

2.5.1.4. Aplicações do Asterisk

Para estabelecer uma conexão entre as chamadas de entrada e as de saída são utilizados, muitas vezes, alguns recursos adicionais. Alguns recursos do Asterisk que podem ser citados são [Gonçalves 2006]:

- Correio de Voz – é um tipo de serviço parecido com uma secretária eletrônica ou caixa de mensagens de celular, isto é, se na tentativa de realizar uma chamada o atendente estiver ausente ou como telefone ocupado, será recebido um comando que permite deixar uma mensagem em sua caixa postal;
- Sala de Conferência – permite que vários usuários participem conjuntamente de uma mesma chamada;

- Sistema de Mensagens Unificadas – é um sistema que possibilita que mensagens de *e-mail*, de correio de voz, ou de fax sejam encaminhadas para uma mesma caixa postal do usuário;
- Recebimento e envio de fax;
- Distribuidor Automático de Chamadas (DAC) e Fila de Atendimento – a pessoa que originou a chamada se autentica em uma fila de atendimento, o distribuidor, então, verifica se algum dos atendentes está livre. Se estiver livre, ele passa a chamada para o atendente, caso contrário, ele mantém a pessoa na fila, normalmente, fazendo com que ela escute algum tipo de música ou propaganda da empresa;
- Música de Espera – recurso usado principalmente para manter as pessoas esperando na fila de atendimento;
- Unidade de Resposta Automática (URA) – permite que uma pessoa seja atendida por um sistema automático que poderá dar algumas soluções de serviços sem necessidade de que a chamada seja recebida pelos atendentes, tornando o sistema mais dinâmico.

2.5.1.5. Hardware de Telefonia para o Asterisk

No mercado de telefonia já existem alguns fabricantes que produzem placas de telefonia e outros equipamentos para serem usados junto ao Asterisk. Entre as placas que provavelmente serão mais usadas no Brasil podemos citar:

- X100P – é uma placa simples, que possui uma porta FXO que pode ser conectada à rede pública ou a uma interface de ramal PABX.



Figura 2.7 – Placa X100P. Fonte: [Gonçalves 2006]

- TDM400P – com 4 portas E1/T1.



Figura 2.8 - Placa TDM400P. Fonte: [Gonçalves 2006]

- TE405P – com 4 portas E1/T1.



Figura 2.9 – Placa TE405P. Fonte: [Gonçalves 2006]

2.5.1.6. Hardware Mínimo Requerido

Na seção 2.5.1.1 foi citado que para o processamento dos canais de voz, o Asterisk utiliza uma CPU. Essa característica limita o desempenho do PABX de acordo com o potencial de processamento da CPU.

Para aplicação do Asterisk no desenvolvimento de servidores de VoIP mais robusto e que suportem uma quantidade de canais maior, é interessante que o Asterisk tenha prioridade alta em relação ao acesso ao barramento do processador e que as outras tarefas não diretamente relacionadas com o Asterisk tenham prioridade baixa [Maggelen 2007].

Na Tabela 2.2 foi apresentada uma descrição simplificada do hardware mínimo necessário para implementar um PABX usando Asterisk.

Tabela 2-2 - Hardware mínimo requerido. Fonte [Modificado de Meggelen 2007]

Propósito	Número de Canais	Hardware Mínimo Recomendando
Sistema <i>hobby</i>	Não mais que 5	400 MHz x86, 256 MB RAM
Pequenos escritórios	5 a 10	1 GHz x86, 512 MB RAM
Sistema para empresas de pequeno porte	Até 25	3 GHz x86, 1 GB RAM
Sistemas de médio a grande porte	Acima de 25	CPU dupla, possibilidade também de múltiplos servidores numa arquitetura distribuída

2.5.1.7. Sistema Operacional

O Asterisk foi criado para funcionar em plataformas Linux, apesar de rodar em sistemas como, por exemplo, o BSD e o OS X. Na plataforma Linux algumas distribuições como *RedHat*, *Mandrake*, *Fedora*, *Debian Sarge 3.1*, foram utilizados com o Asterisk com bastante sucesso [Gonçalves 2006].

3. CENÁRIO

Os sistemas VoIP vêm se tornando cada vez mais presentes em pequenas, médias e grandes empresas. Além disso, a adoção dessa tecnologia por instituições públicas também tem se tornado cada vez mais freqüente. A Câmara dos Deputados, observando as principais tendências de mercado, resolveu investir em tecnologia para adequar sua rede de telefonia para o novo paradigma baseado em uma rede IP.

Detentora de uma das maiores centrais telefônicas privadas do país, a Câmara possui uma central telefônica MD110 proprietária, versão BC12. A diferença fundamental entre o sistema MD110 e outros sistemas PABX reside principalmente nas vantagens oferecidas pela sua arquitetura descentralizada, que proporciona maior segurança nas comunicações, e na possibilidade de evolução para versões futuras, garantindo a preservação do investimento inicial ao longo de muitos anos. Por conta disso, apesar da existência relativamente longa do sistema de telefonia (quase 20 anos), a central instalada conseguiu se manter atualizada ao longo dos últimos anos, incorporando a ela novos módulos que possibilitaram o acompanhamento do avanço tecnológico ao longo dos anos.

Porém, essa possibilidade de incorporação de novas tecnologias se estagnou nos últimos anos. No início dos anos 2000, a proprietária da tecnologia lançou seu novo PABX, baseado em um sistema IP, o MX-ONE. Com o lançamento do sucessor do MD110, o fabricante parou de oferecer tecnologias modulares para a incorporação das novas tecnologias que vinham surgindo e, com isso, a Câmara se viu obrigada a fazer algo para manter o seu sistema em constante evolução e decidiu implantar um sistema de voz baseado na rede IP. Porém, diversos fatores devem ser considerados para uma análise mais cuidadosa desse novo sistema.

O MD110, ainda que um sistema de telefonia que está ficando ultrapassado, possui suporte para ramais IP, interligando-se, assim, como a rede de dados corporativa ou mesmo com a Internet. A idéia, segundo as principais tendências atuais, é utilizar o protocolo SIP para prover esse tipo de ligação, devido às suas vantagens frente aos demais protocolos listado anteriormente. O problema na hora do projeto surgiu da falta de compatibilidade entre o MD110 e o protocolo SIP. O PABX da Câmara só dava suporte ao protocolo H.323, o que resultou na necessidade de um estudo mais profundo e detalhado sobre as possíveis maneiras

de migrar um sistema legado para um sistema baseado na rede IP, convergindo assim o sistema de telefonia para um sistema mais moderno.

A Câmara possui atualmente cerca de 6000 (seis mil) ramais instalados. Deste total, cerca de 3500 (três mil e quinhentos) são ramais analógicos e os demais são ramais digitais, uma vez que o PABX só trabalha com esses dois tipos de ramais atualmente. Além das placas adquiridas, é necessária também a compra de licenças junto ao proprietário para que essas placas possam ser usadas para ofertar ramais. Atualmente, as licenças para ramais analógicos encontram-se praticamente esgotadas, enquanto as licenças para ramais digitais ainda possuem uma folga de cerca de 850 ramais a serem instalados.

A estrutura da rede de telefonia da Câmara pode ser entendida de acordo com o esquema mostrado na Figura 3.1 O primeiro bloco, mostra o PABX em si. Como o sistema é descentralizado, cada LIM funciona como se fosse uma central independente. Além disso, cada um dos três módulos de um LIM são interconectados entre si e possuem conexões também com os demais LIMs. Porém, a principal ligação dos LIMs é a que é feita com os ramais em si, atingindo o usuário final

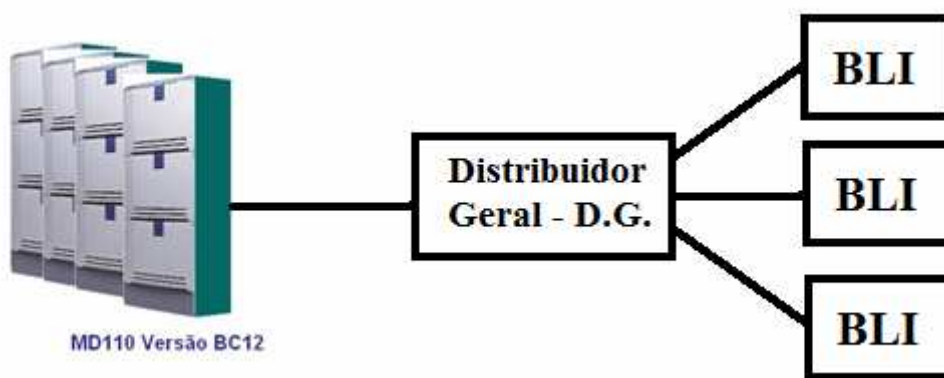


Figura 3.1 – Modelo do Hardware Proprietário, MD110.

Cada placa de um módulo de um LIM, possui saída para 8 ramais. Em todas essas saídas, um fio é usado para conectar a placa ao aparelho do ramal propriamente dito. O fio que sai da placa, passa inicialmente pelo Distribuidor Geral, D.G. – uma espécie de sala que concentra todos os fios oriundos da central telefônica e os encaminha através de ligações com fusíveis ou pontes diretas para os diversos prédios que compõem a Câmara.

Após passar pelo D.G., o sinal de linha é encaminhado para um BLI (Bloco de Ligação Interna) que tem a função de distribuição final dos sinais telefônicos advindos da central. Cada BLI pode suportar até 50 pares de fios e os distribui para um perímetro mais reduzido. É comum cada corredor da Casa possuir um BLI que distribui o sinal do ramal de acordo com as demandas do local.

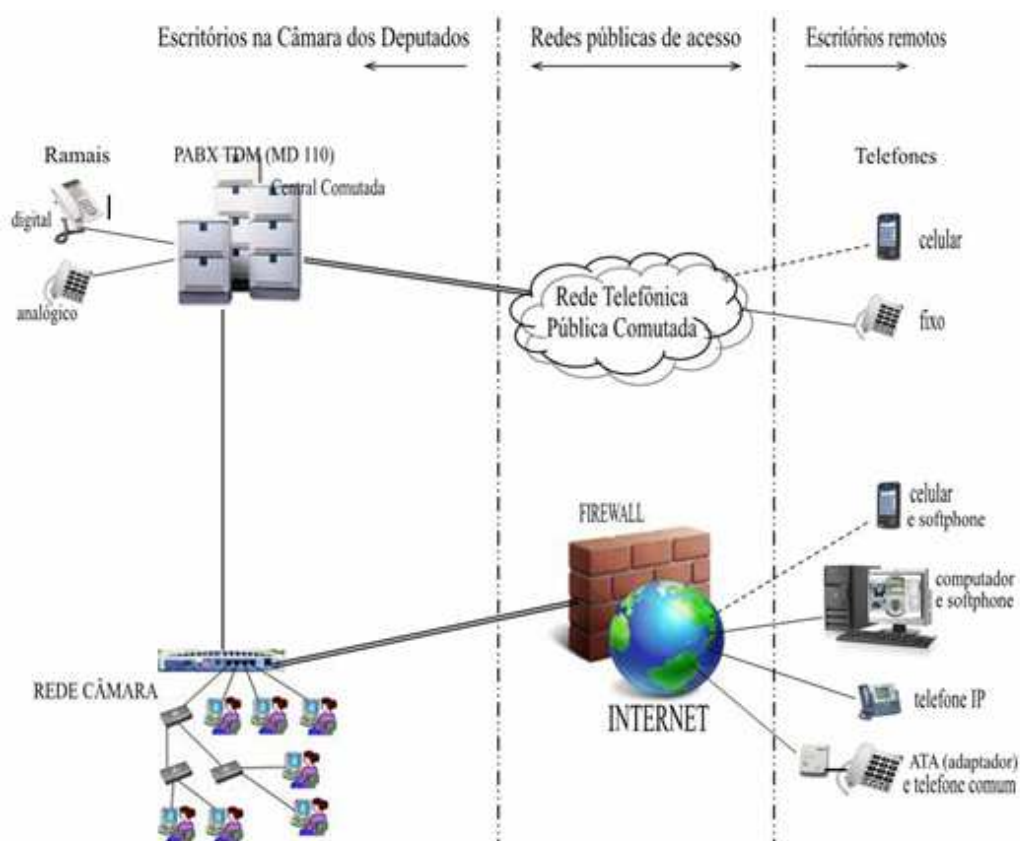


Figura 3.2 – Rede Telefônica da Câmara dos Deputados

A rede telefônica da Câmara dos Deputados, como apresentada na Figura 3.2, ainda não é uma rede completamente estruturada, de forma que existem dificuldades na manutenção de ramais devido a certa complicação de se identificar as conexões de um ramal quando este apresenta defeito. Porém, a alta qualificação e conhecimento prático da estrutura da rede telefônica que os técnicos de telefonia que trabalham no processo de manutenção possuem, acaba possibilitando um bom manuseio na hora de se encontrar e resolver problemas em ramais. Algumas partes da Casa possuem também uma rede estruturada, de modo que a rede

telefônica e a rede de dados ocupam o mesmo espaço de uma forma muito mais inteligível a qualquer técnico, mesmo que este não possua experiência de manutenção prática do local.

A Câmara conta ainda com uma rede interna de dados para acesso à Internet e à Intranet. A chamada Rede Câmara abrange todo o complexo de prédios que compõem a Casa. Em uma rede mais bem estruturada e mais descentralizada, o serviço de acesso à Internet é possível em qualquer parte da Câmara com o uso de um computador, um *login* e senha, fornecidos pelo CENIN – Centro de informática. O CENIN é o responsável por gerenciar toda a parte de dados da Casa. Apesar de já haver pressões internas, a parte de voz e dados ainda é bem dividida, existindo o Departamento Técnico, responsável pela parte de telefonia, e o Centro de Informática, responsável pela parte de dados. As principais tendências tecnológicas apontam para uma breve convergência desses dois tipos de serviço, de modo que a rede de telefonia seja integrada à rede de dados para prover os diversos serviços possíveis, como *chat*, VoIP, HTTP, dentro outros [Soares 2008].

Segundo informações do CENIN, a rede de dados da Câmara já está toda preparada para receber tráfego de voz. Como todas as seções da Casa contam com acesso à Internet a partir da Rede Câmara, a implantação de um sistema de voz sobre IP já teria um alcance total dentro da instituição, bastando ser feitas algumas adaptações, principalmente de QoS, nas configurações de roteadores, *switches*, *firewall*, etc.

O tráfego de voz da Câmara é composto basicamente por dois tipos básicos: o político e o administrativo. O tráfego considerado de cunho político encontra-se principalmente nos gabinetes dos deputados e nas lideranças de partidos. Cada deputado possui atualmente em seu gabinete um total de 5 ramais, sendo dois digitais, dois analógicos e um de fax, que também pode ser usado como analógico.

Existem ainda os ramais de característica administrativa. Apesar de aparentar ser essencialmente o mesmo tipo de tráfego, é notória a diferença entre os dois tipos. Por exemplo, nas segundas e sextas feiras, a presença de deputados na Casa é de número bem reduzido, de forma que isso acaba influenciando diretamente no tráfego de ligações de cunho político. Já os ramais considerados de caráter administrativo, são usados intensamente de segunda à sexta, não acompanhando o crescimento do tráfego dos gabinetes de terça à quinta. Mas apesar de tráfegos com características diferentes, um consenso surge na necessidade de novos ramais e fica cada vez mais evidente a importância de uma ampliação da central existente. Porém, se essa ampliação for feita utilizando apenas os recursos e tecnologias já

implantadas na instituição, existe o risco do sistema de telefonia ficar estagnado no tempo. Por isso surge a necessidade de convergir a rede atual baseada no STFC para uma rede IP.

O principal problema surgiu quando se pensou na ampliação da central MD110 existente. Se fosse utilizado um hardware de fabricante diferente, muitas facilidades poderiam ser perdidas no processo de interconexão entre a central existente e a central ampliada. O protocolo Q-SIG deveria possibilitar a interconexão sem falhas entre centrais de fabricantes diferentes, mas não é o que se vê na prática. Além disso, os aparelhos digitais são também do mesmo fabricante, de forma que uma ampliação de central utilizando equipamentos de outros fabricantes geraria problemas de incompatibilidade com esses ramais digitais.

Por conta desses fatores, a possível solução para o problema de ampliação e convergência da central possui dois ramos bem definidos. Um deles seria utilizando a nova geração de equipamentos do mesmo proprietário do *hardware*, o MX-ONE, considerado uma evolução do MD110, que atenderia a todos os requisitos de projeto. A outra solução possível seria a adoção de um *software* livre para fazer o papel de PABX IP. Ambas as possíveis soluções foram estudadas conforme mostrado nos próximos capítulos. Em seguida é apresentada a solução escolhida como sendo a melhor para o cenário existente.

4. SOLUÇÕES

Nesse capítulo serão descritas as duas soluções propostas para a ampliação da Central PABX da Câmara: uma solução em hardware e outra em software. Em um primeiro momento serão descritas as características de cada uma das soluções e, então, apresentada uma proposta de como cada uma delas poderia ser implementada, visando estabelecer qual seria a mais vantajosa.

Para que fosse realizada uma ligação eficiente entre o sistema existente na Câmara e o sistema que se deseja implementar foi feito um estudo de engenharia de tráfego para verificar a demanda por canais para prover um GoS (Grade of Service) mínimo. Grau de serviço é a medida utilizada para definir um desempenho desejável em um sistema troncalizado, pela especificação da chance de um usuário obter, em uma tentativa, acesso ao canal, dado um número específico de canais disponíveis no sistema [GARG, 2007]. Para esse fim, um estudo estatístico foi realizado em ramais considerados de cunho político, visto que os futuros ramais IP inicialmente serão instalados para os gabinetes dos deputados.

O estudo foi feito a partir de uma amostra de 200 ramais de diversos gabinetes. Considerando horário e dia de pico (quarta-feira das 15 às 17 horas), foi possível estabelecer uma média de 0,12 Erlang por ramal nos gabinetes. Considerando, posteriormente, que a central ampliada daria suporte inicialmente para 600 ramais (513 gabinetes mais uma margem de guarda), teríamos uma expectativa final de carga de 72 Erlangs. Considerando, ainda, que o sistema é do tipo BCC (*Blocked Calls Cleared*), no qual, caso uma chamada não encontre um canal, ela é descartada pelo sistema, deve-se consultar a tabela de Erlang B para fazer uma análise dos parâmetros necessários [GARG, 2007].

Usualmente uma taxa aceitável de erro considerada pelas empresas de telecomunicações é de 2% e esse foi o parâmetro usado como GoS para esse caso. Fazendo a consulta na Tabela Erlang B, foi possível verificar que, para essa probabilidade de perda, seriam necessários 84 canais. Como essa interconexão entre as centrais será feita através de troncos E1, seria interessante, então, que ter um mínimo de 3 portas E1, o que proporcionaria uma GoS de menos de 1%. Caso se julgue necessário, essa conexão poderia ser feita a partir de 4 portas E1 apenas para casos de falhas ou de crescente demanda posterior por ramais IP, de forma que não é considerado fundamental para o sistema funcionar eficientemente. Caso fossem

utilizadas 4 portas E1, ter-se-ia a possibilidade de ampliação, sem prejuízo dos requisitos básicos de funcionamento, para mais de 290 ramais, fazendo assim o sistema suportar até 890 novos ramais IP.

A seguir, serão descritas algumas características das duas soluções e qual delas foi escolhida como a solução mais adequada para o cenário da Câmara.

4.1. SOLUÇÃO EM HARDWARE

Para esse modelo de solução foi escolhido o MX-ONE que é um hardware proprietário. Apesar da existência de várias outras soluções muito eficientes no mercado, essa foi escolhida em particular por se tratar de um equipamento do mesmo fabricante do PABX instalado hoje na Câmara dos Deputados. Primeiramente, foi feito um estudo do hardware que pode ser resumido como: uma evolução do MD-110.

4.1.1. MX-ONE

O *hardware* MX-ONE baseia-se em uma arquitetura de processamento verdadeiramente distribuída. O sistema é constituído por nós: LIMs (Módulos de Interface de Linha). Todos os LIMs podem funcionar como um nó independente ou em combinação com outros LIMs para formar um sistema único. Uma vez que se trata de um sistema único, o gerenciamento é sempre totalmente centralizado. O conceito é flexível em termos de centralização contra descentralização; ambos os enfoques podem ser adaptados dependendo da situação específica do cliente. O MX-ONE também dá suporte a uma grande variedade de interfaces novas e tradicionais, tais como IP, ISDN e interfaces convencionais digitais e analógicas. Como consequência, ele interage facilmente com sistemas de telecomunicação convencionais ou integralmente baseados em IP.

Uma característica importante para os objetivos traçados é que o MX-ONE atende integralmente a operações em IP. A nova versão suporta o protocolo SIP tanto para o lado do usuário quanto para o lado do tronco. Uma vez que a ampliação pretendida é baseada em VoIP e preferivelmente usando o protocolo SIP [Meggelen 2007] essa se torna uma

característica importante para esse equipamento. Outra característica importante é a interoperabilidade entre o MX-ONE e o MD-110. Possibilita uma migração fácil, de modo que um ramal no MX-ONE será sempre visível com todas as facilidades já existentes anteriormente por um ramal em um LIM MD-110.

O MX-ONE é constituído de dois módulos básicos: o servidor e o *Media Gateway*. Ambos os módulos podem ser combinados para formar um sistema completo ou um LIM. Para a escolha do servidor, é sugerida a opção *Embedded Server Unit* (ESU). Utilizar-se-ia um servidor *blade* (em lâminas), que é usado para atualizar as instalações MD110 já existentes e justamente por isso foi feita a escolha desse tipo de servidor. A função de um *Media Gateway* é servir de interface entre os mundos de telecomunicações por IP e convencional [Ericsson 2006]. Para o trabalho proposto seria interessante usar a solução MX-ONE *Compact SM*, utilizando um rack de 19 polegadas (ocupa 2U). É composto de um ESU e um *Media Gateway*. Essa combinação é a mais apropriada para fazer uma migração de um sistema MD110 para o sistema MX-ONE [Ericsson 2006]. Trata-se de um PABX-IP de 700 linhas para ramais IP. O *Media Gateway* usado seria o *Media Gateway Classic*, perfeito para ambientes em que interfaces IP e convencionais estão presentes. Suporta todas as interfaces convencionais para o MD110 [Ericsson 2006].

Algumas características que podem ser destacadas no MX-ONE são [Ericsson 2006]:

- É uma solução híbrida confiável e com recursos de IP;
- Recursos de mobilidade avançada e centrados no usuário incluídos no software básico do sistema;
- Suporte para terminais de sistema fixos e sem fio;
- Escala de até 10.000 sistemas em rede;
- Suporte a terminais móveis públicos e terminais fixos;
- Suporte a exibição de nomes e números de chamada também em telefones analógicos;
- Solução integrada que identifica locais para chamada de emergência e terminais IP;
- Upgrade simples disponível para cliente MD-110, entre outras.

Tabela 4.1 Dados Técnicos do MX-ONE. Fonte [Ericsson 2006]

Capacidade		
CAPACIDADE DO MX-ONE™ Telephony System –Telephony Switch	Máximo por LIM (Line Interface Module, Módulo de Interface de Linha)	Máximo por sistema
Número de usuários	640	50.000
Número de LIMs	–	124
Ramais IP	640	50.000
Ramais móveis	640	16.000
Ramais analógicos	640	50.000
Ramais digitais	640	50.000
Extensões sem fio/DECT	640	50.000
Extensões CAS/WLAN	640	26.000
Número de canais de tronco/de junção (analógicos/T1/E1/H.323)	99/230/240/250	10.000

4.1.2. A SOLUÇÃO SUGERIDA

A solução em hardware sugerida baseia-se no esquema apresentado na Figura 4.1. Ela consiste na interligação entre a central PABX MD-110 existente na Câmara e um componente MX-ONE através de uma ligação por placas Q-SIG. O MD-110 e o MX-ONE, utilizando os componentes apresentados anteriormente, possibilitam uma operação conjunta de modo que os ramais pertencentes ao MX-ONE poderão se comunicar, mantendo todas as funcionalidades e facilidades, com os ramais pertencentes ao MD-110. A idéia é utilizar o MX-ONE para possibilitar a conexão de ramais IP utilizando o protocolo SIP (o MD-110 só dá suporte ao protocolo H.323). Esses ramais IP, que poderiam estar localizados na própria Casa ou mesmo conectados a ela pela Internet, poderão estar nos gabinetes de cada deputado nos seus respectivos estados se conectarão com o MX-ONE através da rede WAN representada na Figura 4.1. Como a Internet não é uma rede segura e que não garante uma QoS mínimo requerido, a utilização de uma VPN seria de fundamental importância.



Figura 4.1- Ligação entre o PABX MD-110 e o MX-ONE

Essa ligação VoIP seria feita sempre que algum usuário no gabinete do deputado no estado tirasse o seu telefone IP do gancho para fazer uma ligação. Utilizando um provedor VPN, o telefone IP no gabinete se comunicaria diretamente com a central ampliada MX-ONE na Câmara dos Deputados em Brasília antes de fazer qualquer ligação. A chamada oficialmente partiria da central em Brasília e não do gabinete do Deputado, de forma que isso centralizaria toda a parte tarifária além de zerar os custos de ligações entre esses ramais nos estados e qualquer outro ramal pertencente ao PABX da Câmara. Além dessa possibilidade de ligação com os gabinetes nos respectivos estados dos deputados, ainda seria possível que um ramal se autenticasse de qualquer parte do mundo através de uma chamada SIP com a central telefônica da Câmara.

Outra vantagem do uso do MX-ONE para essa solução é a possibilidade de ampliação futura da central utilizando o LIM ampliado apenas inserindo placas para novos ramais (analógicos ou digitais, por exemplo). Por se tratar de um equipamento do mesmo fabricante, as placas já adquiridas pela Casa poderiam ser usadas nesse equipamento MX-ONE de modo que não seria necessário fazer qualquer adaptação futura. Mais uma vantagem desse equipamento é a operabilidade com os ramais digitais já existentes na Câmara. Os ramais digitais adquiridos pela Câmara são todos da do mesmo fabricante e só operam se conectados diretamente a centrais proprietárias. Caso fossem utilizados equipamentos de outra marca para

essa ampliação, novos ramais digitais não poderiam ser instalados nesse equipamento. Deve ser levado em conta também que o custo de operação e manutenção de equipamentos de fabricantes diferentes seria bem maior.

Porém, se pensarmos em ampliação da central, a atual central MD-110 possibilita ainda o acoplamento de novas placas (digitais ou analógicas). Para tal ampliação, seria necessário apenas comprar mais placas e uma licença junto ao fornecedor para instalação de novos ramais. Ou seja, a central instalada atualmente na Casa possui certa capacidade de crescimento do número de ramais digitais – já licenciados. Para ampliação de ramais analógicos, seria necessário adquirir nova licença. O que é importante nisso tudo é a irrelevância se o equipamento utilizado na ampliação não possibilita ampliação utilizando aparelhos de outro fornecedor, uma vez que essa ampliação pode ser feita diretamente no MD-110 já instalado ou na parte MX-ONE.

Desde que o protocolo Q-SIG consiga manter todas as funcionalidades e facilidades entre os ramais do MD-110 e os ramais inseridos no equipamento de ampliação, não importa o fabricante do equipamento de ampliação. Porém, experiências realizadas anteriormente em outras empresas, mostraram que o uso do Q-SIG não consegue manter todas as facilidades entre a central já existente e uma nova central de outra marca. Experiências realizadas em FURNAS, por exemplo, revelaram que uma facilidade como o *CallBack* nunca é mantida quando PABX's de marcas diferentes são conectados através do protocolo Q-SIG.

A conexão entre o MX-ONE e o MD-110 seria feita através de placas Q-SIG. Como são do mesmo fabricante, essa interligação garantiria a permanência de todas as facilidades. As ligações com a central MD-110 seriam feitas conectando-se os troncos da placa Q-SIG com vários LIMs diferentes da parte legada. Um módulo MX-ONE se conectaria com vários LIMs de modo que fosse evitado o congestionamento dentro de um só LIM, o que ocorreria caso todas as conexões fossem feitas diretamente a apenas um LIM MD-110. Estudos de engenharia de tráfego, descrito na introdução da seção 4 foram feitos e foi, então, possível verificar que a interconexão através de 4 troncos E1 seria suficiente para dar suporte a uma ampliação de mais de 900 ramais. Como uma placa Q-SIG possui 4 portas E1, apenas uma placa já é suficiente para interconectar centrais

A arquitetura da solução em *hardware* está apresentada na Figura 4.2.

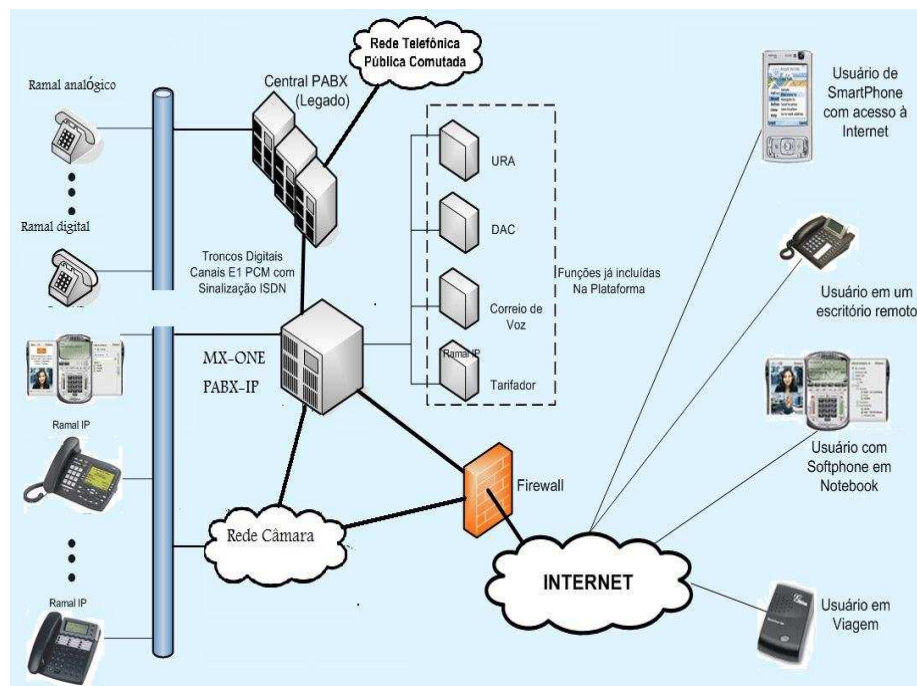


Figura 4.2 – Arquitetura da Solução em *Hardware*. Fonte: [Modificado de NetScience 2008]

Então, de acordo com as informações citadas acima, podemos concluir que caso seja usada a solução apresentada no esquema acima, realmente seria necessária a utilização do *hardware* proprietário.

Um problema dessa solução é o alto custo de implantação do sistema. Além disso, restringir o serviço a apenas um fabricante pode ser problemático em alguns casos, como, por exemplo, caso a empresa resolvesse abandonar a tecnologia. Teria ainda o problema de que ramais digitais e ramais IP teriam sempre que ser da mesma marca. Não se poderia pensar em outro tipo de aparelho digital ou IP, visto que estes não seriam completamente transparentes para a central.

4.2. SOLUÇÃO EM SOFTWARE LIVRE

Uma segunda solução que foi estudada para o cenário da Câmara dos Deputados é a solução em *software* livre: Asterisk. Existe um grande interesse nessa solução por se tratar de uma ferramenta em ampla expansão no mercado de telefonia IP. A escolha do PABX como a solução em software sugerida foi feita por ser ele o PABX IP em software com mais aceitação no mercado [Campos 2008].

4.2.1. O Asterisk

O Asterisk, como já descrito na seção 2.5, é um PABX IP em *software*, criado pela empresa Digium, que além de incorporar praticamente todas as funcionalidades de um PABX convencional, possui licença do tipo GPL – *General Public License*, isto é, é um *software* que para ser implementado não apresenta custos em relação a licenciamento [Gonçalves 2006].

A solução em software possibilita a implementação de serviços completos de uma operadora VoIP. A interface de operação do sistema esta dividida em três áreas distintas: URA, que faz a interação com o usuário no momento das ligações; a interface de Administração WEB que seria usada pela Câmara para gerenciamento de sistema (por exemplo: gerenciamento de faturas, tarifação, relatórios,...); e a interface com o usuário que permite ao próprio usuário acessar e verificar a situação de sua conta no sistema.

A plataforma possui interface com diversos protocolos e padrões de porta TDM, o que permite a inserção do Asterisk em ambientes legados sem dificuldade [Gonçalves 2006].

O Asterisk é uma solução que possui milhares de recursos disponíveis, como os apresentados na Figura 4.3, que torna possível o uso dos mais diversos tipos de serviços para diferentes empresas [Gonçalves 2006].

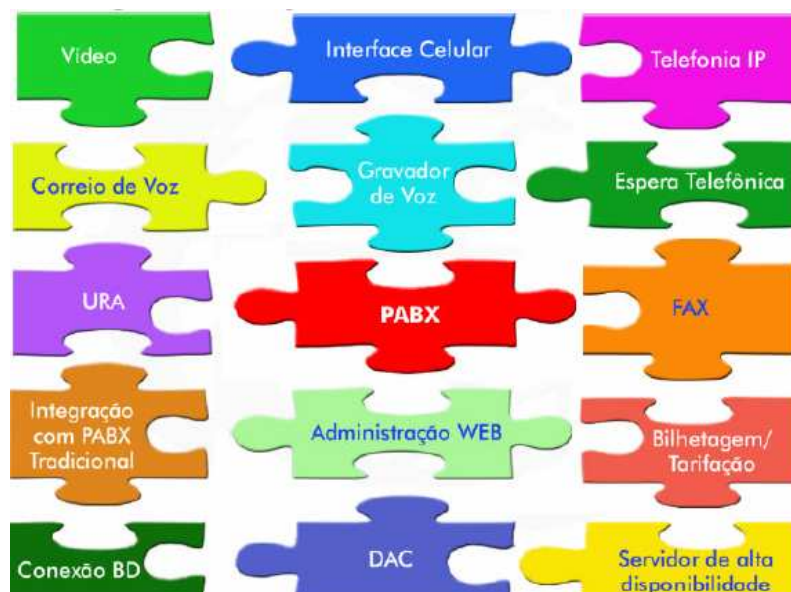


Figura 4.3 – Recursos disponíveis em um PABX IP [Lage 2006]

A grande questão que existe quanto à escolha de um PABX IP é a de qual seria a grande vantagem do Asterisk em relação a outros PABXs, como, por exemplo, o PABX em *hardware* apresentado na seção 4.1.1, visto que também eles podem possuir esses recursos. A resposta para essa questão é a de que o Asterisk não só dispõe desses recursos, mas faz isso de forma integrada e em *software* (como simbolizado na Figura 4.4), e não com diferentes equipamentos conectados a plataforma principal [Gonçalves 2006].



Figura 4.4 – Representação da Integração dos Recursos do PABX Asterisk [Lage 2006]h

4.2.2. A SOLUÇÃO ESCOLHIDA

O Asterisk pode vir a substituir todo o sistema PABX já existente na Câmara, ou apenas se interligar a ele de forma a expandi-lo. O órgão tem o interesse de preservar os investimentos já feitos, visando *a priori* uma expansão que adicione ao que já existe, uma tecnologia provedora de recursos de telefonia IP.

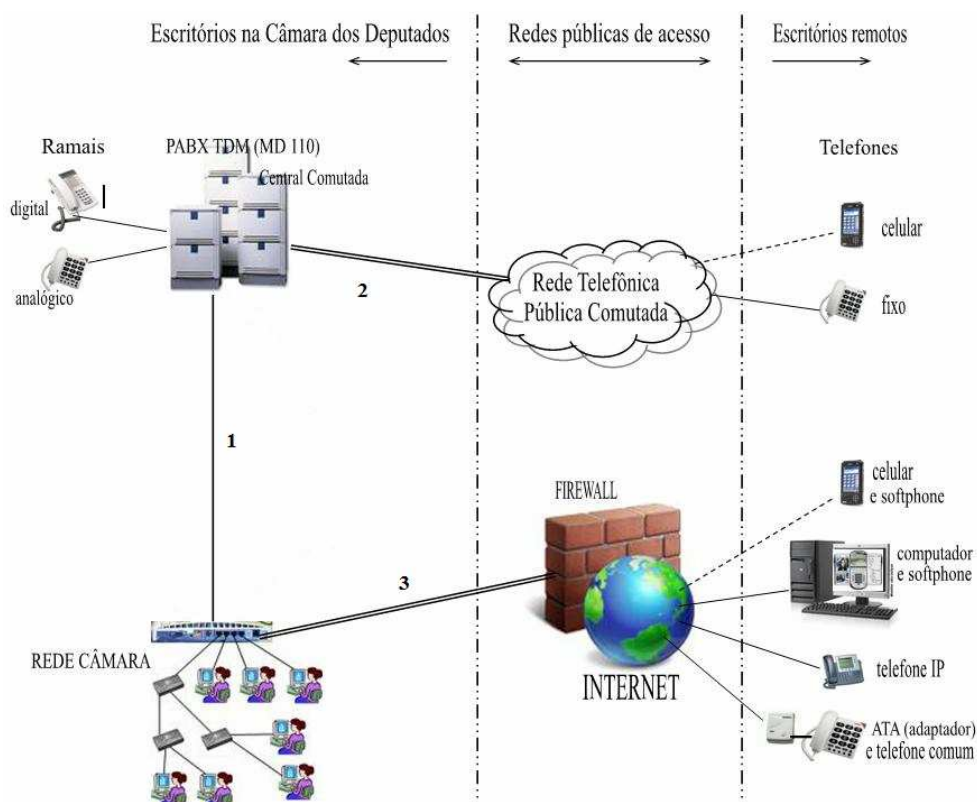


Figura 4.5 - Representação da Central Telefônica e Rede IP atual da Câmara dos Deputados

O sistema existente na Câmara está representado, de maneira simplificada, na Figura 4.5. As conexões do sistema apresentado funcionam da seguinte forma: a conexão de número 1 da Figura, existente entre a rede Câmara e a Central PABX, representa uma ligação com a rede interna de dados para o funcionamento de uma tecnologia proprietária chamada *Solidus eCare* [Mancini 2006]. As empresas aderem a esse tipo solução porque, como apresentado na seção 2.5.1.4, o DAC (Distribuidor Automático de Chamadas), de maneira geral, possui funcionalidades que atendem aos requisitos básicos de um *Call Center*. O *hardware*

proprietário, MD110, entretanto, para realizar essas funções do DAC, possui um sistema de roteamento básico que é insuficiente para atender às necessidades dos clientes.

Com base nesse problema, foi, então, implementado o *Solidus eCare* que é uma evolução do DAC por possuir um tipo de roteamento chamado de roteamento por habilidades, conhecido no mercado pelo nome em inglês – *Skill Based Routing*.

A ligação de número 2 da Figura, representa as ligações do PABX interno com a RTPC. Esses enlaces representam contratos de troncos entre a Câmara e diversas empresas de telecomunicações. Atualmente a Embratel e a Brasil Telecom possuem contratos de ligação de saída para a rede de telefonia fixa. Além disso, a VIVO possui um contrato também de um tronco E1 de saída quando as ligações forem destinadas a celulares da empresa com o código de área 61. Todas as chamadas de dentro da Câmara destinadas a qualquer outro telefone (fixo ou móvel) não pertencentes a ela deverão, obrigatoriamente, passar por um desses troncos, escolhendo sempre a rota de menor custo.

Já a ligação representada pelo número 3 da Figura, trata-se de um link de 52Mbps entre a Câmara e o provedor de Internet, com as devidas configurações de segurança da informação necessárias para uma comunicação segura dentro do ambiente corporativo.

Com base na tecnologia que já existe na Casa, a solução Asterisk pode ser inserida ao sistema de acordo com uma configuração como a da Figura 4.6.

Como descrito na seção 2.5.1.5 o *hardware* necessário para rodar o Asterisk pode ser simplesmente um Computador Pessoal [Gonçalves 2006]. No caso, por se tratar de um ambiente com Central Telefônica de grandes proporções, foi sugerido o uso de mais de um Computador (dedicados), principalmente, por uma questão de eficiência e de geração de redundância, pois caso haja uma falha em um deles, os outros podem operar o sistema até que os devidos consertos sejam executados.

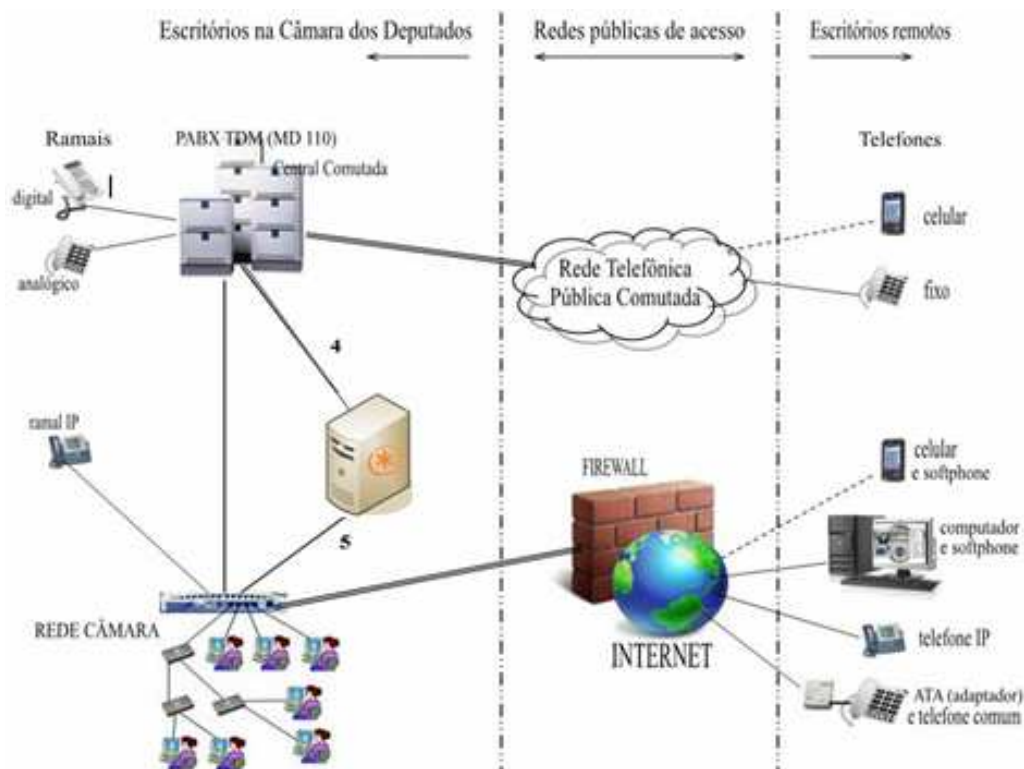


Figura 4.6 – Convergência entre Redes usando o Asterisk

Em relação à conexão entre o Asterisk e a Central PABX atual da Câmara, representada pelo número 4 na Figura 4.6, foi feito o estudo de engenharia de tráfego descrito na seção 4, e, além disso, foram estudadas algumas placas apresentadas na seção 2.5.1.5. Foi possível perceber através desse estudo que o Asterisk já possui algumas placas, homologadas pela ANATEL [Sato 2008], com 4 portas E1, que podem ser conectadas a interfaces de ramais no PABX legado, como exigido pelo sistema proposto para Câmara. Esses 4 troncos E1 deveriam ser interligados com LIMs diferentes, pois caso se interligasse todos os 4 troncos em um único LIM, isso poderia ocasionar congestionamento dentro de um LIM. Esta interligação entre o MD110 e o PC-PBX novo a ser instalado seria feita através do protocolo de sinalização Q-SIG, que permite a interoperabilidade entre equipamentos heterogêneos de centrais privadas.

A interligação indicada na Figura 4.6 pelo número 5 representa efetivamente a ligação do novo PABX-IP com a Rede Câmara para prover o serviço de telefonia sobre uma rede IP. Utilizando a rede câmara, um usuário poderia conectar um telefone IP, previamente configurado, diretamente em um cabo Ethernet conectado à rede. Este aparelho IP passaria a ser mais um ramal da Câmara, conectado ao PABX-IP através da rede câmara. Além disso,

um usuário externo poderia utilizar o protocolo SIP para se conectar ao PABX-IP da Câmara, passando a ser um ramal virtual de onde quer que ele esteja, desde que previamente autenticado e autorizado pelos sistemas de proteção da rede câmara.

Essa última vantagem apresentada de possibilitar ramais virtuais em qualquer parte do mundo com acesso a Internet também está presente na solução MX-ONE. Porém, a solução utilizando o *software* livre Asterisk ainda possui maior flexibilidade e pode ser mais facilmente trabalhada nas questões relacionadas à segurança das chamadas. Uma desvantagem da solução usando Asterisk é que a documentação formal existente sobre o *software* é ainda um tanto deficiente [Gonçalves 2006]. Isso acaba dificultando as pesquisas devido a problemas de confiabilidades em soluções apresentadas em sites de usuários. Porém, já existem sítios na Internet feitos por grupos de usuários e desenvolvedores com ótima reputação e que permitem uma pesquisa com grande confiabilidade. A solução Asterisk representa, ainda, um avanço no rumo da adoção de *softwares* livres nas instituições públicas do Brasil. Atitude esta que vem se tornando cada dia mais freqüente no serviço público.

5. CONCLUSÃO

Após os estudos realizados, foi possível verificar a importância desse tipo de trabalho para áreas de atuação da telefonia. A tendência na sociedade de hoje é uma convergência rápida e contínua das redes de telefonia com as redes de dados em todos os tipos de ambientes. As grandes instituições públicas, assim como as grandes empresas, precisam investir cada vez mais em tecnologias para manter operante o seu sistema telefônico legado e, não obstante, convergir sua rede para uma rede rápida, inteligente e integrada.

A partir da análise dos estudos realizados para as possíveis soluções propostas, foi possível estabelecer o melhor caminho a se seguir rumo à convergência da rede no cenário em questão. A solução em *hardware* que é uma solução proprietária, utilizando o MX-ONE foi apresentada como uma solução eficiente para o cenário desejado, no entanto, não é a que possibilita o melhor custo-benefício. A adoção dessa solução exigiria um alto investimento inicial para a compra do equipamento MX-ONE e ainda implicaria na continuidade de um sistema atrelado a apenas um fornecedor.

Então, a solução usando *software* livre se apresentou como a melhor sugestão para o problema apresentado, visto que o Asterisk possibilita a ampliação da central com um baixo investimento inicial, graças ao pequeno gasto com *hardware* e ao fato de ser gratuito em relação a licenciamento. O uso do *software* livre traz, ainda, uma série de vantagens adicionais para quem o adota como central principal ou mesmo como uma ampliação de um sistema pré-existente. Por se tratar de um *software* livre, existem muitos desenvolvedores ao redor do mundo trabalhando para aperfeiçoá-lo e desenvolver novas aplicações. Além disso, o seu código aberto permite até mesmo que programadores dentro da própria instituição desenvolvam códigos específicos para aplicações que se encaixem melhor nos requisitos desejados. O que demonstra a vantagem de maior flexibilidade para novas evoluções futuras.

Apesar da implantação desse novo sistema baseado em Linux acabar requerendo um novo contrato de operação e manutenção, entende-se que este é um custo adicional que compensa todas as vantagens oferecidas pelo Asterisk. Além disso, uma solução proprietária também exigiria um novo profissional para operar o sistema.

Através deste estudo, espera-se que problemas de convergência de redes em um cenário semelhante ao estudado neste trabalho possam ser mais bem entendidos e as soluções se

tornem mais claras. Este trabalho serve de base para o entendimento da atual e intensa migração dos sistemas telefônicos corporativos convencionais para os modernos sistemas baseados em voz sobre IP de uma maneira que isso não necessariamente implique necessariamente um alto investimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANATEL. Anexo à Resolução nº 89: **Regulamento de Numeração de Serviço Telefônico Fixo Comutado**, Agência Nacional de Telecomunicações, 1998.

CAMPOS, Augusto. **Asterisk é o PBX mais usado do mundo**. Disponível em:
http://www.linux-magazine.com.br/noticia/asterisk_e_o_pbx_mais_usado_no_mundo.
Acesso em: 15 Agosto 2009.

CISCO Systems, *Understanding Codecs: Complexity, Hardware Support, MOS, and Negotiation*, Julho de 2005 URL: <http://www.cisco.com>.

COBB, Chey. **Cryptography for Dummies**. New York: For Dummies, 2004.

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

COMER, Douglas E.. **Interligação em Rede com TCP/IP: Princípios, Protocolos e Arquitetura**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1998. DAVIDSON, Jonathan; PETERS, James; BHATIA, Manoj; KALIDINDI, Satish; MUKHERJEE, Sudipto. **Voice Over IP Fundamentals**. USA: Cisco Press, 2000.

ERICSSON, **MX-ONE Commercial Product Description**, Ericsson, 2006.

ERICSSON, **MX-ONE Telephony System – Telephony Switch**, Ericsson, 2006.

GARG, Vijay. **Wireless Communications and Networking**. 1 ed. Morgan Kaufmann publishers. 2006.

GREENE, Tim. **Grandes empresas lideram o uso de VoIP**. IDG Now!. Disponível em:
<<http://idgnow.uol.com.br/telecom/2006/05/18/idgnoticia>> Acesso em: 20 Setembro 2008.

GONÇALVES, Flávio E. **Asterisk PBX Configuration Guide**. 2 ed. V.Office Networks Ltda, 2006.

HANDLEY, M. El Al. *SIP – Session Initiation Protocol*. Internet Engineering Task Force (IETF), Março 1999. (Request for Comments: 2543). URL: <http://www.ietf.org/>.

HAZARI, Sunil. **Firewalls for Beginners**. Disponível em:
<<http://www.securityfocus.com/infocus/1182>>. Acesso em: 11 Maio 2009.

JESZENSKY, Paul Jean Etienne. **Sistemas Telefônicos**, Barueri: Manole, 2004.

- KAMIENSKI, C. A.; SADOK, J. **Engenharia de Tráfego em uma Rede de Serviços Integrados**. In: 18º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Anais: SBRC 2000, Belo Horizonte, MG, 23 a 26 de maio de 2000.
- LAGE, Epaminondas. Como Explorar os Recursos do Asterisk, 2006. Disponível em: <http://dicasasterisk.asteriskonline.com.br/?p=108>. Acesso em: 4 Julho 2009.
- LEMOS, Guido; SOARES, Luiz Fernando Gomes; COLCHER, Sérgio. **Redes de Computadores: Das LANs, MANs e WANs às Redes ATM**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1995.
- MANCINI, Lucas. **Call Center: Estratégia para Vencer**. 1. Ed. Summus Editorial, 2006.
- MEGGELEN, Jim Van; MADSEN, Leif; SMITH, Jared. **Asterisk: The Future of Telephony**. 2. Ed. O'Reilly Media, 2007.
- NETSCIENCE, **Proposta de Plataforma de Serviços NetScience**, NetScience, 2008.
- OLIVERIA, Flávio de Souza. Asterisk: o nome da revolução no Mercado de telefonia. PC & CIA **81**: 53-59, 2008.
- PRADO, Eduardo e Lima, Fabio. **Dimensionamento de Redes WiMAX**, Disponível em : <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredeswimax/pagina_3.asp>. Acesso em 28 Abril 2009.
- RAPPAPORT, Theodore S.. **Wireless communications: principles and practice**. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- R. NETO, Almerindo; D. JÚNIOR, Israel. **VoIP e Linux: Montando um PBX Gratuito**. Aracajú, 2006.
- SATO, Alberto Mitsuo. **PABX IP**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialpabx/default.asp>>. Acesso em: 1 Abril 2009.
- SATO, Alberto Mitsuo. **Placas DigiVoice: Homologação Anatel**, 2008. Disponível em: <<http://www.albertosato.voipcenter.com.br/?p=530>>. Acesso em: 2 Junho 2009.

ANEXO A – Tabela Erlang B

P(B) = Trunks	0.01	0.015	0.02	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2	0.5
1	0.010	0.015	0.020	0.031	0.053	0.075	0.111	0.250	1.000
2	0.153	0.190	0.223	0.282	0.381	0.471	0.595	1.000	2.732
3	0.455	0.536	0.603	0.715	0.899	1.057	1.271	1.930	4.591
4	0.870	0.992	1.092	1.259	1.526	1.748	2.045	2.944	6.501
5	1.361	1.524	1.657	1.877	2.219	2.504	2.881	4.010	8.437
6	1.913	2.114	2.277	2.544	2.961	3.305	3.758	5.108	10.389
7	2.503	2.743	2.936	3.250	3.738	4.139	4.666	6.229	12.351
8	3.129	3.405	3.627	3.987	4.543	4.999	5.597	7.369	14.318
9	3.783	4.095	4.345	4.748	5.370	5.879	6.546	8.521	16.293
10	4.462	4.808	5.084	5.529	6.216	6.776	7.511	9.684	18.271
11	5.160	5.539	5.842	6.328	7.076	7.687	8.487	10.857	20.253
12	5.876	6.287	6.615	7.141	7.950	8.610	9.477	12.036	22.237
13	6.607	7.049	7.402	7.967	8.835	9.543	10.472	13.222	24.223
14	7.352	7.824	8.200	8.803	9.730	10.485	11.475	14.412	26.211
15	8.108	8.610	9.010	9.650	10.633	11.437	12.485	15.608	28.200
16	8.875	9.406	9.828	10.505	11.544	12.363	13.501	16.807	30.190
17	9.652	10.211	10.656	11.368	12.465	13.355	14.523	18.010	32.181
18	10.450	11.024	11.491	12.245	13.389	14.323	15.549	19.215	34.173
19	11.241	11.854	12.341	13.120	14.318	15.296	16.580	20.424	36.166
20	12.041	12.680	13.188	14.002	15.252	16.273	17.614	21.635	38.159

P(B) = Trunks	0.005	0.01	0.015	0.02	0.03	0.05	0.07	0.1
21	11.860	12.848	13.514	14.042	14.890	16.191	17.255	18.652
22	12.635	13.660	14.352	14.902	15.782	17.134	18.240	19.693
23	13.429	14.479	15.196	15.766	16.679	18.082	19.229	20.737
24	14.214	15.303	16.046	16.636	17.581	19.033	20.221	21.784
25	15.007	16.132	16.900	17.509	18.486	19.987	21.216	22.834
26	15.804	16.966	17.758	18.387	19.395	20.945	22.214	23.885
27	16.607	17.804	18.621	19.269	20.308	21.905	23.214	24.939
28	17.414	18.646	19.487	20.154	21.224	22.869	24.217	25.995
29	18.226	19.493	20.357	21.043	22.143	23.835	25.222	27.053
30	19.041	20.343	21.230	21.935	23.065	24.835	26.229	28.113
31	19.861	21.196	22.107	22.830	23.989	25.774	27.239	29.174
32	20.685	22.053	22.987	23.728	24.917	26.747	28.250	30.237
33	21.512	22.913	23.869	24.629	25.846	27.722	29.263	31.302
34	22.342	23.776	24.755	25.532	26.778	28.699	30.277	32.367
35	23.175	24.642	25.643	26.438	27.712	29.678	31.294	33.435
36	24.012	25.511	26.534	27.346	28.649	30.658	32.312	34.503
37	24.852	26.382	27.427	28.256	29.587	31.641	33.331	35.572
38	25.694	27.256	28.322	29.168	30.527	32.624	34.351	36.643
39	26.539	28.132	29.219	30.083	31.469	33.610	35.373	37.715
40	27.387	29.011	30.119	30.999	32.413	34.597	36.397	38.788
41	28.237	29.891	31.021	31.918	33.359	35.585	37.421	39.861
42	29.089	30.774	31.924	32.838	34.306	36.575	38.447	40.936
43	29.944	31.659	32.830	33.760	35.255	37.565	39.473	42.012
44	30.801	32.546	33.737	34.683	36.205	38.558	40.501	43.088
45	31.660	33.435	34.646	35.609	37.156	39.551	41.530	44.165
46	32.521	34.325	35.556	36.535	38.109	40.545	42.559	45.243
47	33.385	35.217	36.468	37.463	39.063	41.541	43.590	46.322
48	34.250	36.111	37.382	38.393	40.019	42.537	44.621	47.401
49	35.116	37.007	38.297	39.324	40.976	43.535	45.654	48.481
50	35.985	37.904	39.214	40.257	41.934	44.534	46.687	49.562
51	36.856	38.802	40.132	41.190	42.893	45.533	47.721	50.644

52	37.728	39.702	41.052	42.125	43.853	46.533	48.756	51.726
53	38.601	40.604	41.972	43.061	44.814	47.535	49.791	52.808
54	39.477	41.507	42.894	43.999	45.777	48.537	50.827	53.891
55	40.354	42.411	43.817	44.937	46.740	49.540	51.864	54.975
56	41.232	43.317	44.742	45.877	47.704	50.544	52.902	56.-59
57	42.112	44.224	45.667	46.817	48.689	52.548	53.940	57.144
58	42.993	45.132	46.594	47.759	49.636	52.553	54.979	58.229
59	43.875	46.041	47.522	48.701	50.603	53.559	56.018	59.315
60	44.759	46.951	48.451	49.645	51.570	54.566	57.058	60.401
61	45.644	47.863	49.381	50.590	52.539	55.573	58.099	61.488
62	46.531	48.776	50.311	51.535	53.509	56.581	59.140	62.575
63	47.418	49.689	51.243	52.482	54.479	57.590	60.181	63.663
64	48.307	50.604	52.176	53.429	55.450	58.599	61.224	64.750
65	49.197	51.520	53.110	54.377	56.422	59.609	62.266	65.839
66	50.088	52.437	54.044	55.326	57.395	60.620	63.309	66.927
67	50.980	53.355	54.980	56.276	58.368	61.631	64.353	68.016
68	51.874	54.273	55.916	57.226	59.342	62.642	65.397	69.106
69	52.768	55.193	56.853	58.178	60.316	63.654	66.442	70.196
70	53.663	56.113	57.791	59.130	61.292	64.667	67.487	71.286
71	56.560	57.035	58.730	60.083	62.268	65.680	68.532	72.376
72	55.457	57.957	59.670	61.036	63.244	66.694	69.578	73.467
73	56.356	58.880	60.610	61.991	64.222	67.708	70.624	74.558
74	57.255	59.804	61.551	62.945	65.199	68.723	71.671	75.649
75	58.155	60.729	62.493	63.901	66.178	69.738	72.718	76.741
76	59.056	61.654	63.435	64.857	67.157	70.753	73.718	77.833
77	59.958	62.581	64.379	65.814	68.136	71.769	74.813	78.925
78	60.861	63.508	65.322	66.772	69.116	72.786	75.861	80.018
79	61.765	64.435	66.267	67.730	70.097	73.803	76.909	81.110
80	62.669	65.364	67.212	68.689	71.078	74.820	77.958	82.203
81	63.574	66.293	68.158	69.648	72.059	75.838	79.007	83.297
82	64.481	67.223	69.104	70.608	73.042	76.856	80.057	84.390
83	65.387	68.153	70.051	71.568	74.024	77.874	81.107	85.484
84	66.295	69.085	70.999	72.529	75.007	78.893	82.157	86.578

85	67.204	70.016	71.947	73.491	75.991	79.912	83.207	87.672
86	68.113	70.949	72.896	74.453	76.975	80.932	84.258	88.767
87	69.023	71.882	73.846	75.416	77.959	81.952	85.309	89.861
88	69.933	72.816	74.796	76.379	78.944	82.972	86.360	90.956
89	70.844	73.750	75.746	77.342	79.929	83.993	87.411	92.051
90	71.756	74.685	76.697	78.306	80.915	85.014	88.463	93.146
91	72.669	75.621	77.649	79.271	81.901	86.035	89.515	94.242
92	73.582	76.557	78.601	80.236	82.888	87.057	90.568	95.338
93	74.496	77.493	79.553	81.202	83.875	88.079	91.620	96.434
94	75.411	78.431	80.506	82.167	84.862	89.101	92.673	97.530
95	76.326	79.368	81.460	83.134	85.850	90.123	93.726	98.626
96	77.242	80.307	82.414	84.101	86.838	91.146	94.779	99.722
97	78.158	81.245	83.368	85.068	87.827	92.169	95.833	100.819
98	79.075	82.185	84.323	86.036	88.815	93.193	96.887	101.916
99	79.993	83.125	85.279	87.004	89.805	94.217	97.941	103.013
100	80.911	84.065	86.235	87.972	90.794	95.240	98.995	104.110
105	85.518	88.822	91.030	92.823	95.747	100.371	104.270	109.598
110	90.147	93.506	95.827	97.687	100.713	105.496	109.550	115.090
115	94.768	98.238	100.631	102.552	105.680	110.632	114.833	120.585
120	99.402	102.977	105.444	107.426	110.655	115.772	120.121	126.083
125	104.047	107.725	110.265	112.307	115.636	120.918	125.413	131.583
130	108.702	112.482	115.094	117.195	120.622	126.068	130.708	137.087
135	113.366	117.247	119.930	122.089	125.615	131.222	136.007	142.593
140	118.039	122.019	124.773	126.990	130.612	136.380	141.309	148.101
145	122.720	126.798	129.622	131.896	135.614	141.542	146.613	153.611
150	127.410	131.584	134.477	136.807	140.621	146.707	151.920	159.122
155	132.106	136.377	139.337	141.724	145.632	151.875	157.230	164.636
160	136.810	141.175	144.203	146.645	150.647	157.047	162.542	170.152
165	141.520	145.979	149.074	151.571	155.665	162.221	167.856	175.668
170	146.237	150.788	153.949	156.501	160.688	167.398	173.173	181.187
175	150.959	155.602	158.829	161.435	165.713	172.577	178.491	186.706
180	155.687	160.422	163.713	166.373	170.742	177.759	183.811	192.227
185	160.421	165.246	168.602	171.315	175.774	182.943	189.133	197.750

190	165.160	170.074	173.494	176.260	180.809	188.129	194.456	203.273
200	174.653	179.743	183.289	186.161	190.887	198.508	205.108	214.323
