

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO  
INE5632 – PROJETOS 2**

**Raphael Silva Borges**

**Projetos para redes VoIP**

**Homologação da tecnologia VoIP em redes de dados**

**Volume Único**

Florianópolis

2012/2

**Raphael Silva Borges**

**Projetos para redes VoIP**

**Homologação da tecnologia VoIP em redes de dados**

**Volume Único**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação

Área de Concentração: Redes de Computadores e VoIP

Orientador: Prof. Roberto Willrich

Florianópolis

2012/2

**Raphael Silva Borges**

**Projetos para redes VoIP**

**Homologação da tecnologia VoIP em redes de dados**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação

Orientador(a) : Prof Roberto Wilrich, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca examinadora

---

Prof<sup>a</sup>. Carla Merkle Westphall, Dra.  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Vitório Bruno Mazzola, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **Agradecimentos**

Primeiramente agradeço a Deus e a minha família pela oportunidade e apoio nas horas mais importantes desta caminhada. Ao professor Roberto Wilrich pela grande oportunidade de aprendizado e toda atenção e disposição despendida para a elaboração deste trabalho. Aos membros da banca os professores, Carla Westphal e Vitório Mazzola que aceitaram participar deste trabalho e contribuíram consideravelmente com seu conhecimento. Além disto, agradeço a todos os meus amigos, aos quais não preciso aqui citar os nomes, pois cada um se faz presente obrigado pelo apoio e compreensão nas horas de ausência. Enfim muito obrigado a todos que direta ou indiretamente participaram desta caminhada. Todo o esforço foi recompensado.

## **Resumo**

Com a utilização e interligação cada vez maior de redes de computadores e Internet, torna-se usual a utilização deste meio físico também para o tráfego de voz. Inserido neste cenário, a tecnologia VoIP se apresenta como uma importante alternativa, aliando redução de custos com telefonia, juntamente com uma oferta de um serviço com qualidade comparada aos sistemas telefônicos comutados.

O objetivo principal deste trabalho é a definição de uma metodologia para homologação da tecnologia VoIP em redes de dados, locais cabeadas, oferecendo subsídios para a adequação desta tecnologia em ambientes reais. Um dos principais aspectos a serem investigados é a garantia de qualidade do serviço que pode ser ofertado, realizando comparações com o sistema telefônico convencional.

**Palavras-chave:** VoIP, Redes, Telefonia, Qualidade de Serviço, SIP, MOS, CODEC.

# Sumário

1	Introdução.....	11
1.1	Objetivos .....	12
1.2	Metodologia de pesquisa .....	12
1.3	Estrutura do Trabalho .....	13
2	Telefonia.....	140
2.1	Histórico e evolução.....	14
3	Redes de Comunicação de Dados .....	18
3.1	Histórico.....	18
3.2	Arquitetura de Redes .....	19
3.2.1	Modelo TCP/IP .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 20
3.2.1.1	Camada Aplicação .....	21
3.2.1.2	Camada Transporte.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.1.3	Camada Inter-redes.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2.1.4	Camad Enlace .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4	Telefonia IP.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.1	Integração de Serviços - Convergência.....	24
4.2	VoIP.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.3	Características VoIP.....	27
4.4	Arquitetura VoIP .....	28
4.5	Implantação.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.6	Protocolos VoIP.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.6.1	Protocolos de sinalização.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
4.6.1.1	H.323 .....	34
4.6.1.2	SIP .....	34
4.6.2	Protocolos de Mídia.....	36
4.6.2.1	RTP.....	37
4.6.2.2	RTCP .....	38
4.7	CODEC.....	38
5	Qualidade de Voz e Serviço.....	43
5.1	Paramentos de qualidade de serviço .....	44
5.1.1	Atraso.....	45
5.1.2	Varição de atraso .....	46
5.1.3	Perda de Pacotes .....	48
5.1.4	Largura de Banda.....	49
5.1.5	Disponibilidade .....	51
5.2	Metodos de Avaliaçao de Qualidade de Voz.....	51

5.2.1	MOS .....	52
5.2.2	E-Model .....	54
5.3	Homologação .....	55
6	Metodologia para Homologação .....	57
6.1	Análise da Rede e Definição dos Objetivos.....	58
6.2	Definição dos Requisitos do Serviço VoIP .....	59
6.2.1	Qualidade VoIP e Codec de Voz .....	60
6.2.2	Métrica de Qualidade de Voz Utilizada .....	60
6.3	Mapeamento dos Requisitos de VoIP em Requisitos de Redes.....	65
6.3.1	Recomendação de Atraso, Variação de Atraso e Taxa de Perdas .....	66
6.3.2	Cálculo da Vazão .....	68
6.4	Tráfego de Teste: Simulação do tráfego de VoIP .....	71
6.5	Estabelecimento de rodadas de Testes .....	72
6.5.1	Período dos Testes .....	73
6.5.2	Quantidade de Rodadas de Testes .....	73
6.6	Realização dos testes .....	75
6.6.1	OWAMP .....	75
6.7	Análise dos resultados coletados nos testes.....	77
6.7.1	Análise em cada teste .....	78
6.7.2	Análise em cada rodada de testes .....	78
6.8	Análise dos resultados para Homologação .....	79
7	Estudo de Caso .....	81
7.1	Análise da Rede e Definição dos Objetivos.....	81
7.2	Definição dos Requisitos do Serviço VoIP .....	82
7.3	Mapeamento dos Requisitos de VoIP em Requisitos de Redes.....	83
7.3.1	Recomendação de Atraso, Variação de Atraso e Taxa de Perdas .....	83
7.3.2	Cálculo da Vazão .....	84
7.4	Tráfego de Teste: Simulação do tráfego de VoIP .....	84
7.5	Estabelecimento de rodadas de Testes .....	85
7.5.1	Período dos Testes .....	85
7.5.2	Quantidade de Rodadas de Testes .....	86
7.6	Realização dos testes .....	87
7.7	Análise dos resultados coletados nos testes.....	88
7.8	Análise dos resultados para Homologação .....	91
8	Conclusão e Trabalhos Futuros .....	97
9	Referências Bibliográficas.....	99
10	Apêndice.....	103

## Lista de Figuras

Figura 1 - Modelo de referencia TCP/IP (TANENBAUM 2003)	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 2 - Arquitetura básica utilizada pelos sistemas VoIP. (TELECO, 2012)	29
Figura 3 - Protocolos VoIP (TELECO 2012)	33
Figura 4 - Variação de Atraso – Jitter (HERSENT, 2011)	47
Figura 5 - Relação entre E-Model e MOS (SILVA, 2005)	54
Figura 6 - Fluxograma da metodologia	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 7 - Satisfação do usuário	61
Figura 8 - Estados ativos e inativos dos Codecs (PETIT, 2005)	70
Figura 9 - Arquitetura da ferramenta OWAMP	76
Figura 10 - Diagrama da rede local	82
Figura 11 - Calculadora de Fator R e MOS (ITU-T E-Model, 2012)	91
Figura 12 - Valor Atraso e Jitter por rodada de teste	92
Figura 13 - Valor da Perda de Pacotes por rodada de teste	93
Figura 14 - Valor Fator R por rodada de teste	94
Figura 15 - MOS por rodada de teste	94
Figura 16 - Valor MOS por horário	95

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais tipos de CODEC (TELECO 2012).....	38
Tabela 2 - Valores de MOS .....	52
Tabela 3 - Codec MOS (SILVA, 2005) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 4 - Faixa de valores permitidos para o Fator R (G107, 2008).....	62
Tabela 5 - Valores para Ie (G.113, 2007) .....	64
Tabela 6 - Codec MOS (SILVA, 2005) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Tabela 7 - Parâmetros de referência de Rede. ....	69
Tabela 8 - Características de rede do Codecs .....	69
Tabela 9 - Planejamento das rodadas de medições .....	86
Tabela 10 - Valores de atraso por teste .....	89
Tabela 11 - Perda de pacotes por teste .....	89
Tabela 12 - Resumo das rodadas de medições .....	92
Tabela 13 - Tratamento estatístico para MOS .....	95

## Lista de Reduções

ADPCM.....	Adaptative Differential Pulse Code Modulation
ANATEL .....	Agencia Nacional de Telecomunicações
ATA .....	Adaptador de Telefone Analógico
CODEC.....	Codificador/Decodificador
DSP.....	Processador de Sinais Digitais
HTTP.....	Hypertext Transfer Protocol
IAX.....	Inter-Asterisk
IETF.....	Internet Engineering Task Force
ISDN.....	Integrated Service Digital Network
IP .....	Internet Protocol
ITU... ..	International Telecommunications Union
MOS.....	Mean Opinion Score
PABX .....	Private Automatic Branch eXchange
PCM .....	Pulse Code Modulation
PSTN .....	Public Switched Telephone Network
RFC .....	Request for Comment
RTP.....	Real Time Protocol
SIP .....	Session Initiation Protocol
TCP.....	Transmission Control Protocol
UDP.....	User Datagram Protocol
VoIP .....	Voice over Internet Protocol

## 1 Introdução

O crescimento das redes de computadores e a necessidade de redução de custos das organizações convergem para uma direção: a utilização das redes de dados para o tráfego de voz. Com este avanço na tecnologia, aliada a necessidade de redução de custos surge a tecnologia de voz sobre IP (VoIP). Esta tecnologia consiste em utilizar as estruturas de redes de dados para o tráfego de voz, a fim de permitir que a voz trafegue em um meio físico já existente. O VoIP tem como princípio oferecer qualidade e funcionalidades no mínimo equivalentes aos serviços telefônicos convencionais, otimizando recursos.

Desta forma cada vez mais a utilização de tecnologias VoIP vem se tornando habituais. Porém, com esta nova realidade surgem novas preocupações. A implementação da tecnologia VoIP não é algo simples e trivial e alguns pontos precisam ser previamente analisados. Não basta inserir a tecnologia e não avaliar se a rede suporta este tráfego, ou se a qualidade da voz ofertada será da qualidade esperada. Na fase de concepção da rede VoIP surgem diversas questões. Como implantar tal tecnologia em uma rede de dados já estabelecida? Qual a qualidade que é possível garantir com o meio físico disponível? Deve ser considerado que as redes de dados por uma característica de desenvolvimento não fornecem meios para garantia de qualidade, principalmente com relação a pacotes multimídia.

A elaboração de um plano de implantação precedido por um processo de homologação do meio físico disponível se faz necessário, para que o mesmo possa hospedar a tecnologia VoIP com a melhor qualidade possível. Neste ponto que este trabalho visa contribuir, oferecendo subsídios para a homologação da tecnologia VoIP em redes locais de dados existentes. O foco deste é realizar a definição de métricas e parâmetros necessários para que a tecnologia seja implantada respeitando as especificações de capacidade e qualidade requeridas, possibilitando garantir a utilização da rede para as duas finalidades, dados e voz.

## 1.1 Objetivos

Este projeto tem como objetivo principal a definição de uma metodologia para homologação da tecnologia VoIP em redes de dados, locais cabeadas, oferecendo subsídios para a adequação desta tecnologia em ambientes reais. Um dos principais aspectos a serem investigados é a garantia de qualidade do serviço que pode ser ofertado, realizando comparações com o sistema telefônico convencional.

Como objetivos específicos, seguem alguns pontos que se pretende alcançar:

- Levantamento bibliográfico sobre o tema identificando o atual estado da arte e avanço da tecnologia.
- Definição de padrões para métricas para garantir meios de medições de qualidade.
- Realizar medições em ambientes reais através de estudo de caso.
- Analisar os dados coletados para aferição do estudo.
- Propor uma metodologia para a elaboração de projetos de homologação para a tecnologia VoIP.

## 1.2 Metodologia de Pesquisa

O projeto será realizado mesclando estudos teóricos, com medições e análise de dados reais coletados visando atingir os objetivos propostos. O desenvolvimento do projeto contemplará as seguintes etapas:

1. **Fundamentação teórica:** Realizar um estudo sobre o tema e estado da arte. O objetivo aqui é atingir a abrangência necessária para tratar o assunto.
2. **Definição de métricas de qualidade:** Definição das métricas a serem utilizadas para a avaliação de qualidade na rede.
3. **Metodologia de avaliação de desempenho:** Desenvolvimento de uma metodologia para homologação de redes de dados baseada nos

critérios de qualidade adotados, levando em consideração os parâmetros de serviço que serão suportadas pela aplicação.

4. **Avaliação do modelo:** Aplicar o modelo proposto a uma rede de dados realizando um estudo de caso para avaliar os resultados obtidos e eficácia do mesmo.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O restante deste trabalho está organizado nos capítulos na forma que segue. O capítulo 2 se refere à Telefonia, descrevendo sua evolução até os dias atuais. O capítulo 3 é referente a Redes de Comunicações de Dados, retratando o histórico e seu funcionamento básico. No capítulo 4 são introduzidos os aspectos e características da Telefonia IP. Na sequência no capítulo 5 são apresentadas características, parâmetros e modelo de avaliação para a qualidade de serviço de voz. No capítulo 6 se inicia a abordagem para definição da metodologia de homologação proposta.

## 2 Telefonia

O sistema de telefonia é o sistema de comunicação mais difundido no mundo. Através dele é possível estabelecer um canal de comunicação de voz entre dois pontos em qualquer parte do planeta através da rede de comutação de circuitos. Denominada como, *Public Switched Telephone Network* (PSTN), trata-se de uma rede telefônica mundial comutada por circuitos contemplando bilhões de terminais que vão desde simples linhas analógicas passando por links digitais e telefones celulares. Tem a função de prover um serviço de telecomunicações com transmissão de voz e outros sinais para estabelecimento da comunicação entre pontos através da rede de telefonia.

A Telefonia é uma tecnologia essencial e imprescindível por interligar as pessoas, sendo uma tecnologia estável e confiável há muitos anos, estabelecendo um canal com qualidade entre dois usuários. A telefonia surge da necessidade das pessoas de se comunicarem, e com a globalização as distancias precisavam ser reduzidas, cartas e telegramas já não atendiam as necessidades da população.

O capítulo em questão descreve o sistema de telefonia, abordando aspectos históricos e evolução desta tecnologia atualmente consolidada, que foi precursora para a evolução contínua das comunicações.

### 2.1 Histórico e evolução

O princípio da telefonia transcende a telegrafia, com a invenção do telégrafo, equipamento inventado em 1838, pelo cientista norte americano Samuel Morse. O Telégrafo consiste em um sistema de transmissão de mensagens a distância através da representação de sons ou sinais realizando o envio e recebimento de ondas eletromagnéticas que possuem amplitudes e frequências constantes. Os sinais são representados através de Código Morse, um sistema de códigos, composto por letras números e sinais de pontuação representados através de uma combinação adequada de impulsos eletromagnéticos com intervalos convenientes, criado e batizado pelo próprio

Morse, sendo o precursor para o desenvolvimento das comunicações.

Aproximadamente dez anos depois, a telegrafia já era disponível em vários países como um serviço para o público em geral, se tornando rapidamente o único meio de comunicação ágil da época, até o advento do telefone. No Brasil o telégrafo foi utilizado pela primeira vez em 1855, tendo seu uso se intensificado até o final do século XIX. Apesar de simples o telégrafo foi de fundamental importância para o início e desenvolvimento das telecomunicações, demonstrando a sua utilidade em certas áreas de atividade, fazendo com que este equipamento pioneiro se destacasse na prestação de serviços de comunicação.

Ainda em 1865 em Paris, foi fundada a União Internacional de Telégrafos (ITU) sendo atualmente a mais antiga organização internacional do mundo. Dentro da mesma existe o setor denominado ITU-T que é responsável pela padronização de técnicas e operações de sistemas de telecomunicações, além de organizar as interconexões entre os países permitindo a comunicação entre os mesmos. A ITU-T é uma agência especializada da Organização das Nações Unidas (ONU) que em conjunto com a sua longevidade de sua existência, credenciam suas normas como padrões de grande reconhecimento internacional.

Desta forma a popularização da telegrafia despertou um grande interesse nos cientistas. Foi quando Alexander Graham Bell juntamente com seu assistente Thomas Watson se dedicavam a um experimento relacionado a telegrafia. De uma forma inesperada o equipamento que trabalhavam transmitiu um som distinto do esperado, analisando o incidente, foi possível observar que o receptor do equipamento havia sido construído de uma forma equivocada, possibilitando a produção de uma corrente elétrica variável da mesma intensidade da variação do ar ocorrida no aparelho transmissor (COLCHER, 2005).

Após algumas melhorias em fevereiro de 1876 , Graham Bell patenteou o telefone, como um instrumento para transmissão de sons vocais. Em 1877 Graham Bell foi um dos fundadores de *Bell Telephone Company*, e em 1885 a *American Telephone e Telegraph Company* (AT&T) com o objetivo de expandir as comunicações interurbanas. Neste período, para que um telefone pudesse comunicar-se com outro, era necessário um par de fios dedicados, o que

onerava consideravelmente a instalação e o crescimento deste tipo de comunicação.

Portanto com o crescimento da demanda para a utilização da invenção de Graham Bell, não era mais viável a interconexão dos assinantes através de linhas diretas e dedicadas. Para suportar a demanda crescente foi necessário utilizar uma rede de recursos chaveados compartilhados entre os assinantes, que foi denominada como PSTN (*Public Switched Telephone Network*), ou do Português, (Rede Pública de Telefonia Comutada - RPTC) nomenclatura utilizada até hoje para referenciar o sistema telefônico. Desta maneira para que a comunicação fosse estabelecida entre o ponto A e o ponto B era preciso realizar a comutação do circuito, estabelecendo o caminho dedicado entre os assinantes de origem e destino.

Inicialmente este chaveamento era feito de forma manual por operadores humanos que comutavam os circuitos conforme as requisições eram realizadas e eram responsáveis também por liberar o circuito após o término da conversação. Estas comutações eram realizadas através de centrais de comutação que conectavam todos os usuários de uma determinada região. Posteriormente estas centrais de comutação se interligariam possibilitando a comunicação de longa distância e contribuindo para a drástica diminuição dos custos de interligação (TANENBAUM, 2003).

Porém a intervenção humana ainda causava transtornos ao serviço, incentivando a evolução do mesmo. Foi quando em 1881 Almon Brown Strowger, após descobrir que intervenções humanas tendenciosas estavam comutando todas as chamadas que solicitavam serviço funerário a sua concorrente, teve a motivação para inventar a central automática eletromecânica (COLCHER, 2005).

Os telefones desta forma passaram a poder discar diretamente para o número de destino, dispensando os operadores humanos. A escala de oferecimento de serviço telefônico só tornou a crescer popularizando a invenção de Graham Bell. O sistema com o passar dos anos pouco alterou sua maneira básica de operação, porém novos componentes e tecnologias foram agregadas para aperfeiçoar e dar mais abrangência a PSTN.

Os avanços tecnológicos impulsionaram a indústria de telecomunicações, como por exemplo o desenvolvimento de circuitos

integrados que permitiram a produção de centrais privadas de comutação, denominadas PABX (*Private Automatic Branch Exchange*). Baseadas em sistemas computacionais possibilitavam a geração de chamadas internas em um ambiente privado, sem extinguir a possibilidade de comunicação com a rede externa.

Conforme COLCHER (2005), no decorrer da década de 60 começaram a ser introduzidos circuitos para transmissão de sinais digitais, que após algumas décadas passaram a ser predominantes na rede, com exceção das linhas dos assinantes. A digitalização foi possível através da utilização de técnicas de modulação como a PCM (*Pulse Code Modulation*) onde através de amostras de sinais analógicos é possível representar digitalmente e posteriormente recuperar este sinal, otimizando a utilização de recursos de rede.

No entanto talvez o fator que mais impulsionou para o avanço e aumento da velocidade nas telecomunicações foi a fibra óptica. Inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kapany, trata-se de filamentos compostos a base de vidro tendo a capacidade de transmitir sinais luminosos. A transmissão da luz através da fibra óptica segue o princípio da reflexão, onde o sinal emitido percorre o meio físico sendo submetido a sucessivas reflexões até chegar ao seu destino. Desta maneira, devido a pureza do vidro, é possível transmitir informações por maiores distâncias do que através de sinais elétricos com outros tipos de cabamentos, sem a necessidade de amplificação do sinal transmitido com tanta frequência. Com pouca perda de transmissão, baixa interferência e alto potencial de transmissão, a fibra óptica é considerada o meio ideal para transmissão de informação.

Com relação a qualidade e disponibilidade atualmente a telefonia se apresenta como uma tecnologia madura, estável e confiável. Oferece um nível de qualidade satisfatório reconhecido pelos usuários. Segundo JESZENSKY (2004), a rede PSTN é uma rede “cinco noves”, ou seja especifica uma disponibilidade de 99,999%. Isto comprova a robustez da rede, exposta a interrupções quase imperceptíveis ao longo do tempo, contribuindo ainda mais para a satisfação dos clientes.

### **3 Redes de Comunicação de Dados**

O conceito de redes se refere a interligação de dispositivos, objetos e até mesmo pessoas que conectadas tem por objetivo o compartilhamento de algum recurso ou informação. Segundo TANENBAUM (2003). Redes de computadores trata-se de um conjunto de computadores autônomos conectados por uma mesma tecnologia. Desta forma torna-se cada vez mais comum a existência de redes em vários segmentos da sociedade, auxiliando na tarefa básica de aproximar e facilitar a comunicação. Com o advento da computação, as redes de computadores se tornaram um profundo agente facilitador neste processo.

Este capítulo aborda a tecnologia de redes de comunicação de dados, descrevendo o seu histórico e evolução, arquiteturas e principais protocolos envolvidos para a comunicação via pacotes.

#### **3.1 Histórico**

As redes de computadores foram criadas a principio para fins militares, devido à competição mundial entre as duas superpotências, Estados Unidos e União Soviética a partir do final da segunda guerra mundial. Neste período existia uma grande necessidade de conectar os diversos centros de comandos além de garantir que esta interligação fosse robusta para resistir as tensões de conflito da época.

Desta maneira muito foi investido para o desenvolvimento de formas de interligação entre vários setores governamentais, fornecendo uma forma de conexão que não dependesse de todos os pontos da rede, ou seja, o sistema continuaria funcionando caso um ou mais pontos da rede se tornassem inacessíveis, garantindo robustez a este modelo.

Neste contexto e com este intuito foi criada pelo governo dos Estados Unidos a ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*),

inicialmente foi utilizado como meio de comunicação a infraestrutura do sistema de telefonia para facilitar a implantação do projeto.

Com o fim da guerra fria, esta estrutura se tornou disponível para o uso educacional e científico contribuindo para a popularização das redes de computadores. A liberação para uso comercial e residencial ocorreu mais tarde contribuindo para o crescimento exponencial da nova rede mundial chamada de Internet. No Brasil, as universidades foram as primeiras a aproveitar este recurso, sendo em 1995, criado um esforço pelo Ministério da Ciência e Tecnologia para uma integração entre as instituições educacionais, científicas e comerciais, popularizando desta forma a Internet.

Junto com esta disseminação da Internet, houve também a possibilidade de implementação de redes locais denominadas LAN (*Local Area Network*). São redes privadas, limitadas a um espaço físico, utilizadas principalmente para interligar computadores de empresas públicas e privadas, facilitando o compartilhamento de informações e recursos.

Com a necessidade de facilitar a comunicação e reduzir as distâncias, foram criadas também redes de longa distância ou do inglês *Wide Area Network* (WAN). Este tipo de rede permite diversas ramificações com diversos equipamentos conectados permitindo a interligação de redes locais, facilitando a comunicação entre matriz e filiais de uma organização.

Portanto segundo TANENBAUM (2003), as redes de dados foram criadas inicialmente a fim de possibilitar o compartilhamento de recursos. O desenvolvimento tecnológico e a redução de seu custo-benefício, possibilitou também a disponibilização de novos recursos à usuários comuns, facilitando a comunicação entre as pessoas e popularizando esta tecnologia.

Apesar de ainda recente se comparada com outras áreas de conhecimento, a tecnologia de redes de computadores obteve um avanço impressionante considerando o curto período em que existe. Hoje em dia as redes de computadores, estão no cotidiano na maioria das pessoas, e são empregadas nas mais diversas atividades: domésticas, comerciais, industriais, além de aplicações móveis.

## **3.2 Arquitetura de Redes**

A tecnologia de redes utiliza dois importantes modelos de arquitetura como padrão. O modelo de referência de Interconexão de Sistemas Abertos (OSI) e o modelo de Protocolo de Controle de Transmissão e o Protocolo Internet (TCP/IP). Com relação ao modelo OSI, apesar dos protocolos serem raramente utilizados, o modelo é muito válido e abrangente, contendo informações importantes bem descritas sobre cada camada.

No padrão TCP/IP o modelo não é muito utilizado, porém os protocolos descritos possuem grande utilização, sendo responsável, por exemplo, por controlar o tráfego da Internet. Com relação ao modelo TCP/IP abordaremos com mais afinco devido a sua relevância com este trabalho.

### **3.2.1 Modelo TCP/IP**

Segundo TANEBAUM (2003), o modelo TCP/IP surgiu através da necessidade de padronizar a conexão da ARPANET entre as diversas redes existentes na época. Elaborado inicialmente pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, com objetivo de garantir robustez a conexões de rede, esta arquitetura acabou recebendo o nome dos seus dois principais protocolos TCP e IP. Diferentemente do modelo OSI, no modelo TCP/IP os protocolos foram desenvolvidos antes do modelo, tornando-se assim uma arquitetura flexível compatível com as necessidades das aplicações.

Os protocolos do modelo de referência TCP/IP tratam-se de uma solução não proprietária, que oferece ferramentas funcionais para a conexão de computadores e sistemas via rede de dados, apesar de sua relativa simplicidade. É o modelo de rede mais utilizado no mercado, principalmente devido ao extraordinário crescimento da Internet, onde o modelo TCP/IP é adotado.

O modelo TCP/IP é baseado em 4 camadas que possuem funções distintas na pilha deste protocolo. A figura 1, apresenta as camadas desde modelo e demonstra a correspondência com o modelo OSI. No nível mais baixo se encontra a camada Host/Rede. A segunda camada denominada

Internet ou Inter-redes. A terceira camada possui a função de transporte. E por ultimo a camada de nível mais alto denominada camada Aplicação.

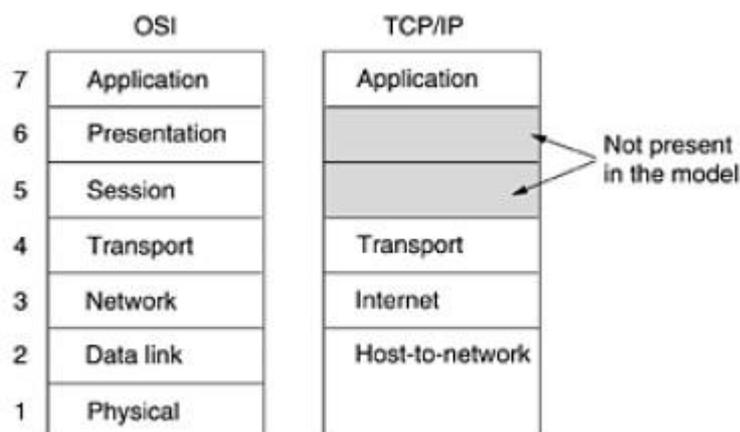


Figura 1: Modelo de referência TCP/IP (TANENBAUM 2003)

### 3.2.1.1 Camada Aplicação

Trata-se do local onde as aplicações e protocolos que utilizam a rede são tratados, contém os protocolos de alto nível (TANENBAUM, 2003). A camada de aplicação se comunica diretamente com a camada de transporte através da utilização de portas para cada aplicação. Nesta camada operam uma grande variedade de protocolos de aplicação, como por exemplo HTTP, FTP, SMTP, SSH entre outros. Por se tratar de uma arquitetura aberta, é possível o desenvolvimento de novos protocolos a serem agregados nesta camada.

### 3.2.1.2 Camada Transporte

Possui um papel fundamental para o fornecimento de serviços de comunicação via rede, permitindo a troca de pacotes entre origem e destino, ampliando o serviço de entrega para a camada de aplicação. Conforme TANENBAUM (2003), dois protocolos para conexão fim a fim são definidos nesta camada, o TCP (*Transmission Control Protocol*) e o UDP (*User Datagram Protocol*).

- **Protocolo TCP:** O protocolo TCP é um protocolo orientado a conexões, permitindo a entrega confiável dos pacotes transmitidos de um computador qualquer. Este protocolo fragmenta o fluxo de bytes em segmentos e repassa a camadas inter-redes. No destino o processo inverso é realizado para remontar as mensagens recebidas (TANENBAUM, 2003).

O protocolo TCP realiza um processo de confirmação do recebimento dos pacotes para garantia da entrega, caso não haja a confirmação do recebimento do pacote, o mesmo é reenviado. Além disto o TCP prove mecanismos para controle de congestionamento (KUROSE e ROSS, 2010).

- **Protocolo UDP:** Diferentemente do TCP, o protocolo UDP não é orientado a conexão. O UDP também não possui correção de erros e controle de fluxo, desta forma é um protocolo bem mais leve que o TCP, sendo ideal para o transporte de aplicações que necessitem de transmissão em tempo real, como por exemplo, aplicações multimídia.

Por outro lado o UDP não transmite confiabilidade com relação a perda dos dados. Tanto TCP e UDP são utilizados para aplicações com características distintas, cada um possuindo vantagens e desvantagens sobre o outro.

### 3.2.1.3 Camada Inter-redes

Conforme TANENBAUM (2003) esta camada integra toda a arquitetura TCP/IP, permitindo que os hosts enviem pacotes para que trafeguem em qualquer rede, através de qualquer caminho até o destino. Os pacotes percorrem caminhos distintos e podem chegar desordenados, cabendo as camadas superiores corrigir esta situação.

Esta camada define o protocolo IP (*Internet Protocol*). O IP, recebe os dados da camada de transporte e encapsula em um pacote IP. Após isto define um caminho de roteamento para que a entrega do pacote seja realizada ao destinatário pelo principio do melhor esforço.

### **3.2.1.4 Camada Enlace**

De acordo com TANENBAUM (2003), o modelo TCP/IP pouco especifica o que ocorre nesta camada. Apenas é necessário que o host se conecte a rede e utilize algum protocolo para o envio dos pacotes IP. Este protocolo raramente é definido havendo uma grande lacuna a ser documentada nesta camada.

## **4 Telefonia IP**

Novo conceito de telefonia que busca agregar valor as redes de dados utilizando este meio também para a transmissão de voz, pretendendo economizar e otimizar recursos. Possibilitada pelos avanços nas tecnologias de redes, hardware, protocolos além de codificadores e compressores de audio entre outros.

O presente capítulo tem como objetivo apresentar a tecnologia e aspectos envolvidos na telefonia IP, serão abordados temas como convergência, arquitetura, protocolos e codecs.

### **4.1 Integração de Serviços – Convergência**

Desde o início da telegrafia e todas as mídias que vieram na sequência, cada uma delas necessitava de uma rede distinta para comunicação, pois não haviam sido projetadas para prever a interligação entre as mesmas. Com o constante progresso tecnológico, a comunicação e o tráfego de dados se tornam cada vez mais eficientes e acessíveis. Surgiu a necessidade e possibilidade de convergir, ou seja, utilizar o mesmo meio para duas finalidades, o tráfego de dados e voz poderia ser otimizado e com isto muitos benefícios poderiam ser alcançados em escala.

A convergência por sua vez não é um tema recente, sendo discutida desde os anos 80. Nesta época se iniciou a reconhecer a importância crescente na comunicação entre computadores. Utilizando-se como base a digitalização de rede de telefonia, que permitiu que o áudio das chamadas pudesse ser transmitido como dados entre as centrais telefônicas, usando como meio as fibras ópticas, no entanto os usuários finais ainda se utilizavam de terminais analógicos, pois ainda era utilizada rede analógica até os assinantes.

As primeiras tentativas de convergência porém estão relacionadas a terminais digitais que propunham substituir o telefone analógico, defendendo a

extensão do canal de voz digital até o usuário final, a fim de substituir o telefone analógico por um aparelho digital. Desta maneira foi criada a Rede Digital de Serviços Integrados (RDSI) ou do inglês *Integrated Service Digital Network* (ISDN), que pretendia disponibilizar acesso digital aos usuários da rede de telefonia, para o uso de serviços de transmissão de dados e voz a um taxa de até 128 kbits/s e acabou ganhando força através de recomendações do ITU.

O ISDN prometia ser revolucionário, pois tratava de uma melhoria de qualidade na velocidade de acesso que era fornecido na época via modems tipicamente a 2400 bits/s, porém a tecnologia só chegou ao mercado no final dos anos 90, quando já existiam modems de 56Kbps e outras alternativas ainda mais rápidas (XAVIER, 2000). Desta forma apesar de todos o esforço de padronização utilizando ISDN, este não se tornou um padrão para integração entrando em desuso para este objetivo sendo preteridas pelas redes IP.

A possibilidade de integração em redes IP requeria que todo o tipo de informação fosse representada digitalmente, sendo necessário o desenvolvimento de mecanismos de comunicação capazes de suprir esta necessidade. Utilizando o conceito de compartilhamento de recursos, era possível então projetar a transmissão de voz utilizando os recursos de redes de dados existentes, resultando em economia para operadoras e clientes.

Esta possibilidade despertou o interesse de empresas em desenvolver, utilizar e fornecer novas formas de comunicação. No cenário corporativo, organizações com filiais em diversas regiões geográficas poderiam ser interligadas para comunicação de voz utilizando a estrutura já existente para dados. A associação dos computadores com a telefonia portanto se mostrava um caminho potencial e inexplorado a ser seguido.

Portanto, com a evolução das redes de dados e informática como um todo, houve uma evolução natural para a possibilidade de convergência, constituindo o próximo passo no processo de evolução das telecomunicações. Não que houvesse algo de errado com a rede telefônica comutada existente, que pelo contrário oferece robustez e qualidade, transmitindo confiabilidade aos usuários. Porém, era necessário adaptar-se a nova realidade, e o uso das redes de dados se mostrou uma alternativa, criando esta nova grande rede convergente.

## 4.2 VoIP

A Tecnologia VoIP consiste na integração de serviços de telecomunicações com redes de computadores TCP/IP. A sigla VoIP provém de *Voice over Internet Protocol* (Voz sobre o protocolo de Internet). Utilizando-se destes recursos é possível digitalizar a voz, transformando em pacotes de dados que podem ser transmitidos via rede baseados no protocolo TCP/IP. Através desta tecnologia é possível permitir que o áudio e sinalização das chamadas seja transmitido integralmente através de redes de computadores, podendo também inclusive ser integrado a rede de telefonia, através de equipamentos adaptadores que realizam esta conversão.

Segundo COLCHER (2005), com a evolução da Internet, novas possibilidades de serviços puderam ser oferecidos sobre a rede IP inclusive a transmissão de dados multimídia em tempo real. Desta maneira VoIP ganhou destaque como uma alternativa viável, utilizando a mesma infra-estrutura das redes de dados das empresas para trafegar dados, voz e vídeo.

VoIP surge neste contexto como uma alternativa para se beneficiar da possibilidade de convergência. Um grande desafio desta tecnologia é oferecer um serviço com a qualidade comparável com a rede telefônica. A atual rede de telefonia PSTN, é uma rede de comutação por circuitos, isto é, para cada conexão de voz é executada a comutação de um caminho dedicado permanente dentro da rede, normalmente com velocidade de 64Kbps. Esta tecnologia está em uso há muitas décadas e transparece o sentimento de confiabilidade e qualidade.

O propósito básico da telefonia IP é realizar amostras contínuas do áudio, posteriormente realizando a conversão para o formato digital, para que seja efetuada a transmissão através de redes IP. Na recepção os dados novamente são convertidos para a forma analógica para que se tornem audíveis.

VoIP é o setor das telecomunicações que mais cresce, um dos grandes disseminadores do crescimento deste novo horizonte é devido a popularização e o barateamento do acesso à Internet banda larga, sendo atualmente uma realidade para a maioria da população e principalmente empresas.

### **4.3 Características VoIP**

A principal vantagem para o uso da tecnologia VoIP é referente a questão econômica. A economia com o uso desta tecnologia pode ocorrer de diversas formas. Uma das principais formas é que é possível compartilhar os atuais equipamentos e recursos de rede para o tráfego de voz, realizando convergência e conseqüentemente barateando a implantação desta tecnologia em comparação com um sistema tradicional de telefonia, além de facilitar a administração da rede.

Ainda é possível utilizar a rede de dados existente para interligar via voz matriz e filiais de uma organização, permitindo que estas ligações sejam realizadas a custo zero contribuindo para uma redução abrupta nos custos com ligações. Neste mesmo cenário também é possível reduzir o custo de ligações interurbanas utilizando a interligação entre matriz e filiais para a geração de chamadas através de uma rota de menor custo.

Um outro aspecto que vem ganhando visibilidade com relação a redução de custos, é o uso de operadoras VoIP para o encaminhamento de chamadas. Desta forma o cliente contrata os serviços de uma operadora VoIP e utiliza a rede da mesma para a geração de chamadas telefônicas. A vantagem na utilização destes serviços se dá pelo fato que as operadoras através da otimização e convergência de suas redes conseguem oferecer redução em suas tarifas, comparadas com a telefonia tradicional.

Cada vez mais surgem no mercado alternativas por parte de várias empresas em oferecer serviços utilizando VoIP. Acompanhando este crescimento de concorrência com as operadoras VoIP, até mesmo as próprias operadoras de telefonia utilizam tecnologia VoIP em pontos de suas redes para melhorar sua competitividade através da redução de seus custos operacionais.

Além da questão econômica a tecnologia VoIP possui outras vantagens. Com VoIP é possível realizar a integração com outros serviços de informática, como mensagens de voz e e-mail, expandindo desta forma a capacidade do sistema para uma integração mais completa facilitando a comunicação.

Da mesma forma que na telefonia celular, VoIP permite a transparência

de localização e mobilidade. Através da Internet é possível um usuário se registrar em um servidor VoIP em qualquer lugar do mundo e utilizar os recursos disponíveis. Esta característica permite agilidade aos usuários que não precisam ficar fixos a um ponto de atendimento.

A mobilidade é alcançada, pois, não há necessidade de associar o usuário a um número, podendo ser utilizado um nome para facilitar a busca ao usuário. Isto torna o VoIP uma tecnologia interessante pois com o substancial crescimento de redes sem fio nos últimos anos, surge um novo patamar para a expansão de VoIP, abrindo precedentes inclusive para uma concorrência com a telefonia móvel.

Existem muitos obstáculos para o crescimento desta tecnologia. Dentre eles destacam-se a integração e compatibilidade com a rede de telefonia pública existente, permitindo a conexão com o mundo externo. Além disto a comparação quanto ao serviço público de telefonia, é inevitável. No que diz respeito principalmente a qualidade de voz e dos serviços prestados com alta disponibilidade deste meio, bem como a capacidade de oferecer serviços agregados ao sistema telefônico existente.

Portanto a qualidade de voz e robustez da rede são um dos principais fatores a serem analisados para a implantação e utilização da tecnologia VoIP.

#### **4.4 Arquitetura VoIP**

Esta nova tecnologia propõe uma nova definição de arquitetura para a aplicação em redes de dados. Os componentes são distribuídos ao longo de uma rede utilizando a estrutura atual, porém acrescentando novos componentes a estrutura. Os equipamentos VoIP adaptam-se facilmente em diversos ambientes, com sistemas ou infra-estruturas em utilização, visando assim a redução nos investimentos necessários para à convergência de dados e voz.

No modelo de telefonia IP, os usuários podem estar conectados a rede utilizando apenas um computador com kit multimídia utilizando um software para fazer o papel do telefone conhecido como SoftPhone, além da possibilidade de utilização de outros equipamentos para conexão. Uma

arquitetura baseada na telefonia IP pode ser composta por diversas estruturas e subdividida basicamente em Servidores, Gateways e Terminais, conforme exemplificado na figura 2.

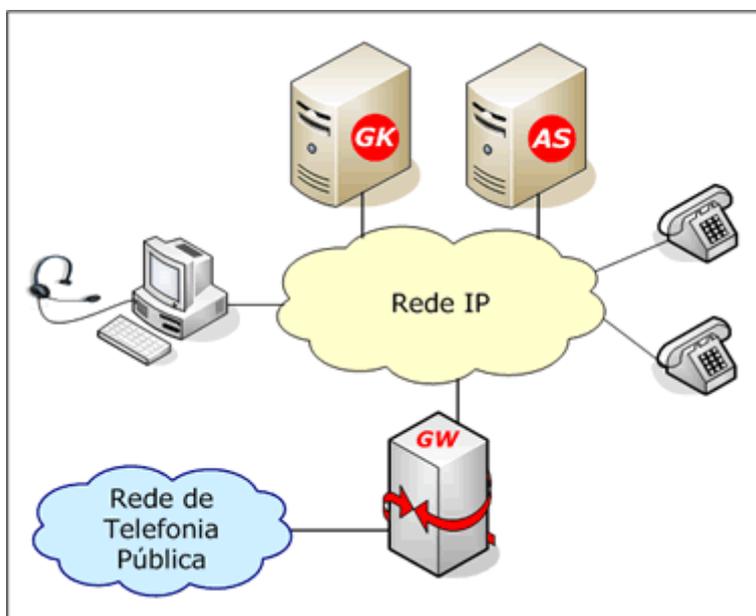


Figura 2: Arquitetura básica utilizada pelos sistemas VoIP. (TELECO, 2012)

#### 4.4.1 Servidores

Fornecem serviços de conexão e registro dos usuários a fim de permitir a conexão entre os mesmos, ou fornecer condições de comunicação com outros servidores externos. Realiza o gerenciamento dos terminais IP além de funções de tradução dos endereços dos terminais, realizar o controle de chamadas, consumo de banda, entre outras. Além disto podem fornecer serviços adicionais ao VoIP. Dentre estes pode-se destacar serviços característicos de equipamentos PABX como caixa postal, Unidade de resposta audível (URA), agenda, identificação de chamadas entre outros.

#### 4.4.2 Gateways

Realizam a conexão da rede VoIP com a rede de telefonia pública convencional. Realizam portanto a integração entre as redes permitindo a

comunicação entre usuários de redes distintas. Realizam a conversão da sinalização e voz para que possa trafegar na rede IP, efetuando o controle sobre o número de chamadas. Os Gateways podem ter caráter de agente facilitador do processo de migração para a tecnologia VoIP, devido ao fato de reutilizar terminais e estrutura da telefonia convencional, reduzindo custos e facilitando o processo de migração.

### **4.4.3 Terminais**

Os dispositivos terminais, também chamados *endpoints*, correspondem principalmente a telefones IP e softphones conectados a rede IP, que recebem um endereço IP. Registrados através de servidores VoIP, é através destes dispositivos terminais que são realizadas as chamadas telefônicas em uma rede IP. Há a possibilidade de conectarem diretamente sem a necessidade de um canal dedicado com o servidor, utilizando seus próprios CODECs.

#### **4.4.3.1 Telefone IP**

Consiste em um aparelho semelhante aos telefones analógicos convencionais, porém possui a estrutura de conversão do áudio em forma de sinal analógico para amostras digitais exigida para uma comunicação através de uma rede VoIP.

Existem diversas opções de telefones IP no mercado de diversos fabricantes. Existem opções proprietárias que funcionam somente com em conjunto com determinados fabricantes, porém existem também equipamentos genéricos que possibilitam o funcionamento em qualquer estrutura. O aparelho possui uma ou mais interfaces Ethernet para que possa ser conectado a rede VoIP. A segunda interface de rede pode ser utilizada para compartilhar o acesso com um computador quando há escassez de pontos de rede no local. Desta maneira é possível utilizar as funcionalidades do aparelho conectado a rede.

Há ainda opções mais recentes no mercado de Telefones IP wireless. Estes aparelhos vem ganhando popularidade pelo seu barateamento e mobilidade além do avanço das redes wireless.

#### **4.4.3.2 Softphone**

Trata-se de um aplicativo que pode ser instalado em um computador que prove as funções de acesso e comunicação via VoIP. Ele simula o funcionamento de um telefone IP através da utilização dos recursos do computador em que está instalado. Existem diversos SoftPhones no mercado, que vão desde gratuitos até código fechado proprietários, também é possível encontrar SoftPones disponíveis para os mais variados sistemas operacionais.

Além das funções básicas de um telefone IP os SoftPhones podem agregar novas funcionalidades como ajuste de volume, agenda telefônica, gravação de voz, histórico de chamadas entre outras funções que muitas vezes não existem na maioria dos telefones analógicos. Outra grande vantagem destes aplicativos é a mobilidade pois basta um computador com acesso a Internet para ser utilizado, podendo se beneficiar das redes wireless.

#### **4.4.3.3 ATA**

Apesar de ser largamente utilizados nos computadores, VoIP também pode ser utilizado em conjunto com aparelhos analógicos através deste equipamento provendo a função de um gateway VoIP.

ATA ou Adaptador para Telefone Analógico é um dispositivo que tem a função de converter o sinal analógico proveniente de um aparelho convencional para o sinal digital que possa ser transmitido através de pacotes de dados. O ATA permite a interconexão de aparelho convencionais analógicos com a rede IP.

## **4.5 Implantação**

Desta forma uma revolução está ocorrendo com o advento das possibilidades das tecnologias VoIP, muito ainda tende a ocorrer e a migração da telefonia tradicional para a telefonia IP parece inevitável. Com a voz sendo tratada como mais um fluxo de uma rede de dados é possível a otimização de recursos. Muitas vantagens podem ser somadas com a utilização da tecnologia VoIP.

O retorno do investimento feito para implementar a telefonia sobre IP é observado de médio a longo prazo sendo alcançado por diversos fatores já citados anteriormente, tornando VoIP uma solução atrativa.

Porém é preciso um planejamento de implantação correto para que as funcionalidades atendam as expectativas do cliente. Disponibilizar uma solução nova, onde a estrutura física não permita a operação de VoIP com qualidade deve ser considerada para o cálculo do investimento.

Portanto para a utilização de redes de dados para a transmissão da voz, é necessário o uso de diversos instrumentos para a adequação do sinal de voz. Neste processo são utilizados diversos mecanismos como codificadores e protocolos, visado a melhor qualidade possível, e serão tratados nos próximos itens.

## **4.6 Protocolos VoIP**

Como VoIP é baseada na arquitetura TCP/IP, o mesmo utiliza os protocolos IP e UDP, para a entrega e transporte das informações ao destino. Devido a facilidade de desenvolvimento para estes protocolos é que foi possível o desenvolvimento de protocolos que permitissem a transmissão de voz sobre IP. Em uma estrutura VoIP há a necessidade de utilização de protocolos que são responsáveis pelo estabelecimento, manutenção e finalização de forma bidirecional das sessões entre os pontos participantes. Estes realizam o controle das informações transportadas e são divididos em

três tipos, sinalização, controle de gateway e mídia, descreveremos os protocolos mais importantes neste cenário. A figura 3 demonstra a forma de interação e os protocolos envolvidos.

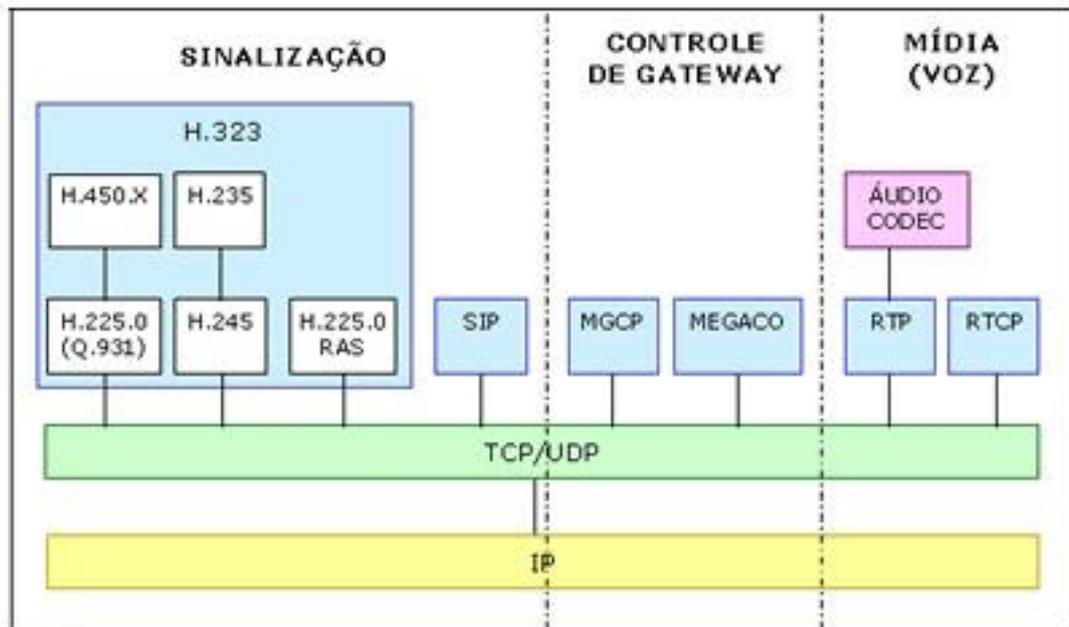


Figura 3: Protocolos VoIP (TELECO 2012)

#### 4.6.1 Protocolos de Sinalização

Os protocolos de sinalização especificam um padrão para o controle da chamada realizada via rede. Realizam funções de sinalização como, definição da codificação de voz, autenticação, estabelecimento e finalização das chamadas entre outros. Atualmente os principais protocolos de sinalização VoIP são:

- H.323;
- SIP - Session Initiation Protocol;
- IAX - Inter-Asterisk eXchange;

Dentre estes é mais comum a utilização dos protocolos H.323 e SIP, sendo que o H.323 gradativamente entrando em desuso, com o SIP sendo o protocolo mais usado em aplicações VoIP. No entanto o protocolo IAX vem ganhando

destaque no mercado devido a sua facilidade e o crescimento de ambientes em Asterisk.

#### **4.6.1.1 H.323**

O H.323 é um dos protocolos mais utilizados para VoIP. Trata-se de um dos mais antigos protocolos neste meio, e que foi muito difundido devido a sua robustez. Criado em 1996 e revisado em 1998 para contemplar as primeiras implementações de Telefonia IP ele é integrante da família de recomendações do ITU-T (*International Telecommunications Union*) denominadas H.32x.

Segundo JESZENSKY (2004), o H.323 é uma recomendação pioneira para o estabelecimento de comunicação multimídia baseada em pacotes. A documentação do H.323 agrega a especificação de protocolos, métodos e elementos de rede necessários para o estabelecimento da comunicação entre os pontos. Portanto o H.323 tem como objetivo principal padronizar a comunicação multimídia que transcorre entre os elementos desta rede. Trata-se mais uma avaliação de arquitetura do que um protocolo propriamente dito

Portanto a recomendação H.323 trata primeiramente o estabelecimento de procedimentos para a comunicação de áudio ponto a ponto em tempo real entre usuários em uma rede. Entretanto o escopo é maior englobando demais especificidades da comunicação. O H.323 é um protocolo utilizado diversos equipamentos gateways de voz sobre IP de marcas conhecidas como Cisco, Polycom e Siemens, além de estar presente na maioria dos PABX IP. Aos poucos o H.323 vem perdendo significância no mercado e sendo substituído por outros protocolos, como o SIP e o IAX.

#### **4.6.1.2 SIP**

O protocolo SIP (*Session Initiation Protocol*) é um padrão proposto pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) definido através do RFC (*Request For Comments*) 2543 de 1999. Conforme JESZENSKY (2004), SIP é um protocolo de sinalização baseado em texto que tem como função controlar sessões

multimídia entre os pontos participantes. SIP é um protocolo baseado em cliente-servidor, utilizado basicamente em conjunto com o protocolo UDP para prover a função de transporte, devido a simplicidade e velocidade deste protocolo.

Para KUROSE e ROSS (2010), o SIP é capaz de fornecer métodos e mecanismos para o gerenciamento de chamadas entre os usuários durante o andamento da mesma. Realiza funções como adicionar sessões de mídia, mudar a codificação, inserir outros participantes e transferir chamadas. O SIP opera como um protocolo de sinalização na camada de aplicação do modelo de referência OSI.

A função básica do SIP trata-se de iniciar, gerenciar e encerrar sessões multimídia em tempo real entre os usuários. Para tanto trabalha em conjunto com outros protocolos como UDP e TCP, fazendo parte de uma arquitetura multimídia completa. No entanto as funções básicas do SIP independem dos demais protocolos, oferecendo apenas funções primárias para a utilização de demais serviços.

Segundo KUROSE e ROSS (2010), SIP possui três funções básicas, prover mecanismos para estabelecer chamadas, chamar um IP que pode não ser fixo e mecanismos para gerenciamento de chamadas.

Apesar de ser um protocolo que vem ganhando popularidade nos últimos anos a origem do SIP não é recente. Foi proposto inicialmente no final da década de 90 sendo aceito mais tarde em 2002 como um protocolo de sinalização para servir como uma alternativa ao padrão H. 323, considerado um protocolo mais extenso e complexo. Diferentemente da complexibilidade das normas do H.323, SIP é um protocolo mais simples e no mínimo tão funcional quanto o H.323. Projetado para trabalhar em conjunto com aplicações multimídia em rede, principalmente na Internet.

O SIP é um protocolo que possui elementos semelhantes ao protocolo HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) muito em parte por também se tratar de um protocolo cliente/servidor baseado em texto. Possui sintaxes e semânticas semelhantes ao HTTP que fornecem novas possibilidades ao SIP, como a implementação de métodos de resposta e requisição para a sinalização e controle das chamadas VoIP .

A principal aplicação do SIP é para utilização em soluções de VoIP sendo muito difundido em ambientes multimídia sendo utilizado atualmente como padrão na maioria das arquiteturas. O protocolo permite localizar os usuários através de endereço IP , além de oferecer suporte a nomes utilizando um padrão URL para identificar um cliente SIP. Desta forma permite estabelecer uma sessão multimídia entre os mesmos, permitindo a conexão entre dois ou mais usuários através de redes de pacotes.

#### **4.6.1.3 IAX**

Outro protocolo que também merece ser referenciado é o IAX (*Inter Asterisk eXchange*). Desenvolvido pela empresa Digium que também detém os direitos autorais do Asterisk, o IAX é um novo protocolo que tem como principal objetivo a interligação de servidores Asterisk. Ele agrega funcionalidade de sinalização de chamadas inerentes aos protocolo SIP/H.323 e o transporte de dados referente ao protocolo RTP. Ele possui algumas vantagens principalmente no que diz respeito a redução do uso de banda, através da capacidade de conexões de interligação dividindo o processamento do protocolo. Além disso sua vantagem mais exaltada é usar apenas uma porta para transportar sinalização e áudio, facilitando a operação em ambientes com NAT por exemplo.

O IAX ainda apresenta pouca expressividade principalmente fora do ambiente Asterisk, com poucos equipamentos ou aplicações que utilizam este protocolo. Porém a relevância do IAX tende a aumentar com o crescimento de soluções Asterisk.

#### **4.6.2 Protocolos de mídia**

Como o transporte do áudio é fundamental nas aplicações em tempo real, não sendo tolerável a perdas, é necessário que exista um protocolo de mídia que opere em conjunto com o protocolo UDP visando oferecer esta garantia. Protocolos de mídia são utilizados para o transporte dos dados entre

os pontos, transferindo o áudio codificado entre as partes envolvidas em uma chamada VoIP. Dentre estes protocolos, destacam-se o conjunto RTP (*Real-time Transport Protocol*) e RTCP (*Real-Time Control Protocol*).

#### 4.6.2.1 RTP

O RTP prove funções para o transporte de pacotes de voz fim-a-fim para aplicações de transmissão de dados em tempo-real, como áudio, vídeo ou similares. Em ambientes de voz sobre IP o RTP é utilizado em conjunto com o protocolo de sinalização para fazer o transporte do áudio das chamadas, função esta não é implementada nos protocolos de sinalização.

Conforme HERSENT (2002), o RTP foi descrito inicialmente no RFC 1889, sendo um conjunto de protocolos utilizados nas primeiras comunicações na Internet. Desde então o RTP passou por melhorias até sua versão atual. O RFC 1889 descreve a estrutura geral para que este protocolo possa permitir o transporte de dados em tempo real, ou seja, de forma sincronizada.

A necessidade de utilização do protocolo RTP é simples. Como o áudio é sensível a atrasos ou perdas de pacotes, é necessário que o protocolo RTP seja utilizado em conjunto com o protocolo UDP. Este protocolo trabalha na semântica do melhor esforço para a entrega dos pacotes. Portanto o RTP foi projetado para tratar incidentes que podem ocorrer compensando o *jitter* e a perda de pacotes que podem ser ocasionados no transporte de pacotes nas redes IP, possibilitando a utilização de aplicações multimídia como voz e vídeo usando as funcionalidades do RTP.

Ainda conforme HERSENT (2002), o RTP não prove nenhuma garantia de qualidade de serviço e garantia na entrega dos pacotes no tempo correto, que podem sofrer influência do comportamento da rede IP. Atrasos, perdas de pacote ou sequencia podem ocorrer devido a característica das redes IP e desta forma afetar o funcionamento do RTP. O RTP basicamente permite que ao recebimento haja uma compensação do jitter da rede, através de um controle com buffer e sequenciamento dos pacotes, amenizando desta forma a exposição a estes incidentes.

Desta forma o processo por completo consiste em coletar pequenos trechos de áudio que são encapsulados em um cabeçalho RTP para posteriormente ser encapsulado em um pacote UDP. Há um enfileiramento destes pacotes antes da sua transmissão para que possam ser atribuídas suas marcações de sequência baseadas no tempo real.

Estes pacotes são transferidos e no destino são armazenados em um buffer para que a sequência seja lida e os mesmos possam ser reorganizados mantendo a coerência do conteúdo original. Como a sequência se utiliza do tempo real é possível reconstruir a sequência correta dos dados, reproduzindo exatamente o contexto, mesmo que haja perda de pacotes é aguardado o tempo exato do pacote para reproduzir o próximo pacote sequencial (KUROSE e ROSS, 2010).

#### **4.6.2.2 RTCP**

O Transporte de dados efetuado pelo RTP é complementado pelo uso do protocolo de controle RTCP. Ambos são utilizados paralelamente, porém seus pacotes são transmitidos de forma independente. O RTCP busca oferecer garantias mínimas sobre controle e identificação dos pacotes, além de permitir controle sobre a entrega dos pacotes, realizando a monitoração da qualidade do serviço.

De acordo com HERSENT (2002), o RTCP tem a função de transmitir de tempos em tempos pacotes de controle relacionados com a sessão RTP. Como todos os participantes precisam enviar este pacote de controle, este procedimento pode gerar um tráfego elevado conforme o número de pontos estabelecidos em uma sessão RTP. O RTCP, portanto, provê relatórios referente a qualidade da transmissão baseado nos participantes envolvidos em uma sessão.

### **4.7 CODEC**

A transmissão da voz humana é realizada através de forma analógica

por meio de ondas de forma senoidal. Portanto estas ondas precisam ser convertidas de forma analógica para digital, para que possam ser transmitidas através do meio físico das redes de dados. O processo envolvido nesta etapa recebe o nome de digitalização do áudio. Desta forma o áudio em valores contínuos precisa ser transformado em valores discretos realizando amostragens do sinal analógico.

Inicialmente o termo CODEC faz referência ao termo *COder/DECcoder* (Codificador/Decodificador) que possui esta função de converter os sinais analógicos em digitais e vice e versa, realizando a convergência para a transmissão por meio digital em uma rede de comutação de pacotes.

Porém, em um cenário mais atual o termo CODEC aplica-se também a *COmpression/DECopression* (Compressor/Decompressor) do sinal, compactando o tamanho de dados a serem transmitidos. É gerado desta forma uma redução na largura de banda necessária para a transmissão dos pacotes, havendo uma otimização do uso da rede. Ambas as definições apresentam coerência ao serem analisadas em paralelo.

O processo completo desta etapa de conversão e compressão se inicia com a geração do sinal analógico pelo gerador da chamada. Este sinal senoidal precisa ser convertido para um sinal digital na forma de pulsos digitais que assumem valores discretos de zeros e uns através do processo denominado digitalização. Após esta etapa de conversão o sinal digital é comprimido através de amostras do sinal original com o intuito de reduzir o tamanho dos pacotes a serem transmitidos, minimizando a ocupação na rede. Os bits são encapsulados pelo protocolo de transporte e são enviados ao destinatário. Estes dados são novamente convertidos no destino, permitindo recompor o sinal original ao usuário.

Outro ponto que precisa ser analisado são os tipos de CODECs para áudio existentes. Cada tipo de CODEC possui características próprias. Cada um destes provê uma certa qualidade de voz ao usuário, através de suas especificações que variam desde seus algoritmos de codificação, consumo de banda, processamento dentre outros. O produto destas características deve ser analisado a fim de fornecer informações para a escolha de um determinado CODEC com a melhor relação custo/benefício.

Com a evolução da computação com o passar dos anos, diversos tipos de CODEC com características variadas foram desenvolvidos, sendo agrupados e padronizados conforme as recomendações do ITU-T. A tabela 1 apresenta os CODECs mais conhecidos e algumas de suas características básicas.

Recomendação ITU-T	Algoritmo	Bit rate (kbit/s)	Atraso típico fim-a-fim (ms)	Qualidade de Voz
G.711	PCM	48; 56; 64	<<1	Excelente
G.722	Sub-banda ADPCM	48; 56; 64	<<2	Boa
G.723.1	ACELPMP-MLQ	5,36,3	67-97	Razoável Boa
G.726	ADPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.727	AEDPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.728	LD-CELP	16	<<2	Boa
G.729	CS-ACELP	8	25-35	Boa
G.729 Anexo A	CS-ACELP	8	25-35	Boa

**Tabela 1: Principais tipos de CODEC (TELECO 2012)**

#### 4.7.1 G.711

O G.711 é um dos CODECs mais difundidos em redes de telefonia. Foi desenvolvido em 1972 sendo um compressor de áudio de alta velocidade padronizado pelo ITU-T. Ele possui duas implementações u-law e a-law, a primeira utilizada nos Estados Unidos enquanto a segunda é utilizada no resto do mundo.

Realiza amostras utilizando a modulação PCM (*Pulse-Code Modulation*). Representa um modelo que utiliza uma taxa de amostragem de 8000 amostras/segundo (VARPHONEX, 2012). Desta forma equivale a 64000 bits por segundo ou 64kbps, quando não utiliza a supressão de silêncio. Como ele ocupa a mesma largura de banda de uma ligação telefônica normal, o G.711 é mais utilizado em redes locais (LAN) ou em redes com maior

capacidade de tráfego, oferecendo uma qualidade de voz semelhante a telefonia convencional.

#### **4.7.2 G.726**

O G.726 é um dos primeiros CODECs de compressão de voz. Denominado anteriormente como G.721 foi utilizado pela primeira vez em 1984. Baseado nos padrões ITU-T este CODEC utiliza o ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) para compressão de dados. Pode gerar diferentes taxas de bits que variam em 16, 24, 32 e 40 kbps (SMITH, 2005).

O modo mais utilizado é 32 kbit/s, que é metade da taxa do G.711, porém oferece uma qualidade de voz semelhante. No entanto o G.726 perdeu popularidade por não conseguir operar adequadamente com sinais de modem e fax, sendo a desvantagem pelo seu processamento e a largura de banda inferiores.

#### **4.7.3 G.723.1**

O G.723.1 é um codec padrão ITU-T com alto poder de compactação, ele pode operar tanto com 5.3 kbps quanto com 6.3 kbps. Trata-se de uma extensão da recomendação G.721 e apesar da baixa largura de banda exigida pelo G.723.1, fornece uma razoável qualidade de áudio. Este CODEC precisa ser licenciado para uso em aplicações comerciais.

Assim como o G.726, ele não trabalha adequadamente com sinais de fax e tem limitações para transportar sinais DTMF (*Dual Tone MultiFrequency*) para reconhecimento de cifras discadas. Portanto apesar do pouco consumo de banda o G.723.1 possui limitações devido a alta complexidade de seu algoritmo de compressão.

#### **4.7.4 G.729**

Trata-se de um algoritmo de compressão de áudio. Ele compacta a voz em tempos de 10 milissegundos de duração operando originalmente no padrão

em 8 kbps. Considerando a baixa largura de banda que o G.729A ocupa, ele consegue gerar uma qualidade de voz classificada como Boa. Assim como o G723.1 possui a necessidade de licenciamento para aplicações comerciais. Devido aos seus requisitos de largura de banda baixa G.729 é usado principalmente em aplicações VoIP para conservar a largura de banda.

Este alto grau de compressão, porém acarreta limitações, diminuindo a qualidade de voz. Além disto, música e tons DTMF ou Fax não podem ser transportados de forma confiável por este codec devendo-se optar pelo o codec G.711 ou algum outro mecanismo de compressão.

## 5 Qualidade de Voz e Serviço – QoS

A qualidade de voz é considerada premissa básica para a tecnologia VoIP e ao mesmo tempo um dos grandes empecilhos para a difusão desta tecnologia. Existem grandes obstáculos para assegurar a qualidade da voz que trafega por uma rede de dados. Normalmente é desejado trafegar o maior número de chamadas com a melhor qualidade possível.

Pelo fato da voz ser sensível ao tempo, ou seja, pode sofrer perda de contexto caso existam atrasos na transmissão, é necessário que haja uma distinção entre os pacotes de dados e voz. Desta forma os pacotes de voz necessitam de atenções especiais, recebendo tratamento diferenciado respeitando as suas características.

Como a estrutura de rede de dados é fundamental a qualquer ambiente corporativo, as mesmas já se encontram prontas e muitas vezes não estão preparadas para atender e esta nova demanda relacionada com a qualidade de pacotes de voz. Desta forma pode ser necessário alterações e melhorias neste ambiente para a garantia de qualidade, pois diversos tipos de tráfego de dados estarão utilizando o mesmo circuito físico.

A tecnologia VoIP utiliza o protocolo UDP para transporte de pacotes que não fornece um mecanismo para assegurar a entrega dos dados em ordem seqüencial, nem mesmo garantem a qualidade de serviço. Pacotes de voz são sensíveis a atraso e precisam ser transmitidos em tempo real para evitar degradação. Desta forma estes pacotes consomem muito mais tráfego que a transmissão de dados, aumentando consideravelmente o tráfego em uma rede.

Um dos objetivos de VoIP é o compartilhamento de recursos para dados e voz, não existindo a necessidade de redes distintas para o tráfego dos diferentes tipos de pacotes. Desta maneira é preciso que a rede de dados atenda aos requisitos para transmissão de voz juntamente com o fluxo de dados, evitando interferências do ambiente para o tráfego de pacotes. Portanto com a necessidade do compartilhamento de recursos, é necessário estabelecer

mecanismos de controle para atender aos requisitos de garantia de qualidade de serviço (QoS ) para ambos tipos de tráfego da rede.

Segundo HERSENT (2002), o conceito de QoS ( *Quality of Service* ) foi amplamente ignorado no projeto inicial do protocolo da Internet. O IP, como outras tecnologias de redes de pacotes, foi construído para transportar dados, mas não voz e vídeo. Hoje com o desenvolvimento da tecnologia de redes, tornou-se possível o transporte de dados em tempo real sobre uma rede IP. No entanto pelo fato do protocolo IP utilizar o modelo *Best-effort* para entregar os pacotes ao destino pelo melhor esforço possível, isto pode afetar a qualidade de serviços, propondo desafios para implantação de projetos baseados em VoIP.

A qualidade de serviço está relacionada com os requisitos que aplicações necessitam, neste caso para voz, para que um serviço possa ser estabelecido com a qualidade esperada. Está diretamente ligada a capacidade do sistema operar serviços distintos, sem que haja interferência entre os mesmos. Trata-se de um conjunto de parâmetros que determinam o nível de qualidade do fluxo de dados. Desta forma a qualidade suportada por uma rede é um dos principais fatores a serem considerados para implantação de VoIP em uma rede de dados.

Segundo COLCHER (2005), para a utilização de aplicações multimídia com qualidade é preciso fornecer mecanismos que auxiliem a transmissão de acordo com as características de tráfego impostas pela rede. Em termos de serviços de comunicação de voz, estes mecanismos visam compensar os fatores que podem influenciar em uma degradação da qualidade, através de estratégias de correção possíveis. Portanto tais parâmetros que influenciam na qualidade da comunicação de uma rede precisam ser analisados.

## **5.1 Parâmetros de Qualidade de Serviço**

São muitos os obstáculos existentes para garantir qualidade de serviço em redes de comutação de pacotes. A fim de garantir uma boa qualidade de voz diversos parâmetros precisam ser gerenciados durante todo o percurso da

rede. Segue a descrição dos principais parâmetros que influenciam uma especificação de qualidade para uma determinada solução VoIP, visando evitar a degradação da qualidade da voz e conseqüentemente da aplicação.

Com a necessidade da garantia de qualidade em redes de dados, diversos RFCs foram definidas a fim de padronizar os parâmetros de desempenho de rede. A RFC 2330 define um padrão para os parâmetros de desempenho, estabelecendo uma nomenclatura a ser adotada na definição de parâmetros e metodologias para a aferição de redes.

### 5.1.1 Atraso (*One-Way Delay*)

É o atraso total entre o envio de um pacote, ou mensagem, a partir da origem até sua recepção no destino, ou seja o atraso em um sentido. Foi definido através da RFC 2679, que aborda diversos requisitos para medir esta variação. Corresponde ao acúmulo de atrasos e pode ser gerado através do processamento dos equipamentos da rede, da velocidade e propagação da transmissão e de acúmulo de tráfego nos roteadores.

Em redes WAN o efeito do atraso se torna mais visível do que em redes LAN. Os próprios hosts e servidores também geram atrasos que devem ser considerados na medição fim-a-fim na aplicação. Do ponto de vista da aplicação, o atraso resulta em um tempo de resposta ou tempo de entrega da informação.

O atraso também pode ser gerado devido a qualidade dos equipamentos envolvidos na rede, ou ainda devido a arquiteturas complexas de rede que possuem muitas conexões e roteamentos para estabelecer a comunicação, podendo ser pontos críticos na geração deste incremento do atraso com relação ao tempo em que os pacotes de voz são trocados entre os participantes de uma ligação VoIP.

O atraso gera basicamente duas conseqüências à qualidade da comunicação VoIP: Eco e Sobreposição do locutor.

- **Eco:** Consiste na reflexão da própria voz do interlocutor, que pode se misturar com o áudio da conversação prejudicando a integridade da

conversaço. Trata-se de um fenmeno fsico que ocorre devido a repetiço de um som gerado atravs do acmulo de atraso superiores a 50 milissegundos, que este e o tempo que a repetiço se torna perceptvel ao ouvido humano. Torna-se um problema significativo percebido pelos usurios causando desconforto durante a conversaço.

Desta maneira tcnicas de controle e cancelamento de eco tornam o servio mais eficiente, estas tcnicas normalmente comparam os dados recebidos com os dados transmitidos, para que no sejam enviados ao usurio. O cancelador compara os dados recebidos da rede de pacotes com os dados de voz transmitidos para a rede de pacotes. O eco proveniente da rede telefnica e ento removido por um filtro digital sobre a via de transmissao dentro da rede de pacotes.

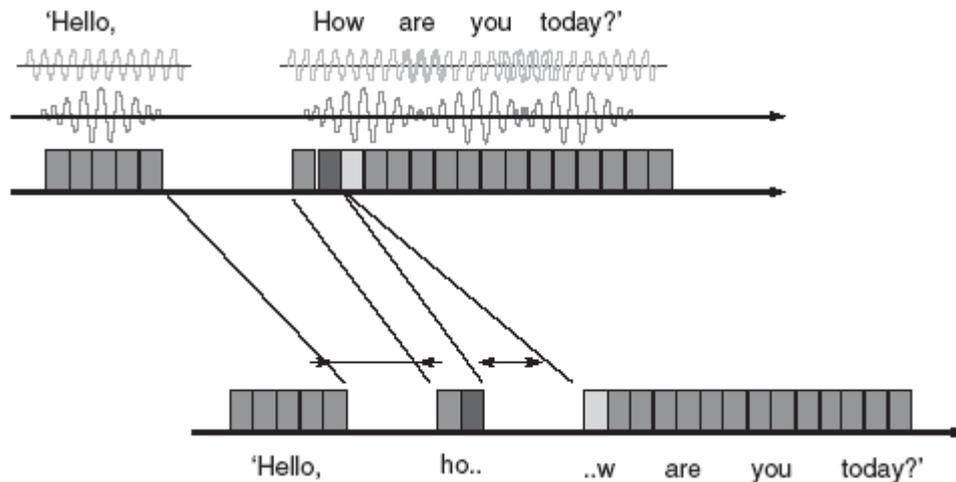
**- A Sobreposiço do locutor:** Com o aumento excessivo do atraso so encontradas dificuldades no estabelecimento da comunicaço. Com atraso no tempo de troca de mensagens cada usurio percebe a conversaço em tempos distintos. Desta maneira quando um usurio recebe uma mensagem com um tempo de atraso elevado, o mesmo conseqentemente ir demorar mais para responder realizando um efeito em cascata na conversaço. Com este atraso de comunicaço entre as partes ambos usurios acabam em alguns momentos falando ao mesmo tempo, e com isso dificultando a comunicaço entre os mesmos.

Segundo KUROSE e ROSS (2010), atrasos inferiores a 150 milissegundos no possuem carter degradativo a qualidade do servio, ja atrasos entre 150 e 400 milissegundos, apesar de no ser o cenrio ideal so aceitveis, poro atrasos superiores a 400 milissegundos prejudicam a interatividade entre os usurios acarretando impossibilidade de utilizao do servio

### **5.1.2 Variaço de Atraso (*One-Way IP Packet Delay Variation*)**

A variaço do atraso ou jitter e um fator crucial para a qualidade do servio prestado. Pode ser visto como a variaço do atraso na sequencia de

entrega dos pacotes de um mesmo fluxo de dados, seu aspecto pode ser observado na figura 4. É definido através da RFC 3393 e pode ser calculado através da comparação de atrasos entre pacotes, sendo necessário repetir o procedimento diversas vezes para quantificar a medida do parâmetro.



**Figura 4 – Variação de Atraso – Jitter (HERSENT, 2011)**

A variação de atraso é gerada principalmente pela variação nos tempos de processamento dos pacotes pelos diversos equipamentos de rede, como roteadores, switches, hosts e servidores. Isto ocorre, em geral, devido às variações na quantidade de tráfego que trafega pela rede. Aplicações interativas de voz e vídeo, ou aplicações de tempo-real podem ser afetadas pela variação do atraso.

Os atrasos gerados no roteamento de pacotes em diversos locais da rede afetam o sincronismo entre os pacotes transmitidos e os recebidos, podendo ocorrer de forma genérica ou individual por pacote KUROSE e ROSS (2010).

Esta característica da transmissão das redes de dados, que ocorre em tempo variável, gera o recebimento de pacotes fora de ordem, que no caso de aplicações multimídia é crítico afetando a qualidade e garantia do serviço. Caso ocorra em caráter constante ou haja uma grande variação de atraso entre a transmissão e recepção gera um caráter impeditivo para a utilização de aplicações VoIP.

Outra forma de minimizar o jitter para aplicações VoIP é a utilização do recurso buffer de jitter ou do português memória de atraso. Este armazena os dados a medida que estes são recebidos por um determinado período de tempo, para que desta forma a sequência correta seja mantida para a aplicação. No entanto este buffer inserido na estrutura acrescenta um certo atraso na comunicação, que na maioria os casos tende a ser tolerável, porém com atrasos muito grandes o buffer se torna ineficiente e haverá degradação da qualidade do sinal (HERSENT, 2002).

### **5.1.3 Perda de Pacotes (*One-Way Packet Loss*)**

Trata-se de um dos mais sérios problemas relacionados à qualidade de serviço em VoIP. Refere-se se a razão entre a quantidade de pacotes perdidos na rede e a quantidade de pacotes que foram transmitidos. Pelo fato que as redes IP não ofertam garantia na entrega de pacotes, é possível que ocorram com grande ocorrência denegrindo a qualidade para a telefonia IP, devido a necessidade das aplicações VoIP receberem os pacotes sem perdas e em sequência.

A RFC 2680 define este parâmetro, onde várias amostras de envio de pacotes são coletadas através de um determinado intervalo tempo. Desta forma o percentual de pacotes perdidos possa ser calculado definindo o valor do parâmetro.

A perda de pacotes torna-se um fator que implica diretamente na qualidade de voz, gerando as mais diversas conseqüências. Esta perda ocorre principalmente devido ao descarte de pacotes nos roteadores, durante períodos de congestionamentos, onde os buffers internos não comportam a quantidade de pacotes a armazenar, podendo ocorrer internamente em uma rede ou durante o processo de transmissão.

A perda de pacotes é dependente de fatores cruciais como condicionamento do tráfego, enfileiramento e tratamento dos pacotes nos roteadores, ocasionando perda da qualidade do sinal de voz, impossibilitando a decodificação do sinal original na recepção devido à perda de amostras.

Conforme KUROSE e ROSS (2010), uma possibilidade de minimizar este problema seria a utilização do protocolo de transporte TCP, que realiza a checagem dos dados enviados, providenciando as possíveis correções. Porém se torna inviável esta retransmissão para aplicações VoIP devido aos atrasos gerados pelos seus controles de congestionamento. Desta forma há necessidade das aplicações IP utilizarem o protocolo UDP como transporte devido a sua simplicidade mas ficando vulnerável a variação do atraso, sendo necessário a utilização de protocolos na camada aplicação para minimizar esta questão como o protocolo RTP visando ocultar perdas.

Devido às características das redes de dados, a perda de pacotes torna-se inevitável, sendo possível apenas minimizar o seu impacto nas aplicações e tornar a perda tolerável, sendo necessário especificar a rede garantindo limites razoáveis para a qualidade do serviço (TANENBAUM, 2003). Para o caso de aplicações em tempo real a perda de uma pequena porcentagem de pacotes é menos crítica do que ocasionar um grande atraso na comunicação através da utilização de um buffer que suporte todos os pacotes sem perdas. Desta forma são toleradas perdas na ordem de 5% para evitar que o contexto do áudio sofra degradação.

#### **5.1.4 Largura de banda (*Network Capacity*)**

Largura de banda é a quantidade máxima de informação que pode ser transmitida conhecida também como vazão de tráfego. Este conceito se confunde muito com o conceito de taxa de transmissão que é a taxa efetiva de bits por unidade de tempo, no caso, segundos. A Largura de banda pode ser entendida como a capacidade da rede de transferir dados e possui caráter estático, porém fluxo de dados na rede é variável, havendo a possibilidade da ocorrência de congestionamentos. Ou seja, dependendo da qualidade e do uso compartilhado que possa haver no meio, a taxa de transmissão pode sofrer alterações, não utilizando toda a largura de banda disponível.

Largura de banda é definida através da RFC 5136, que contém diversas definições para capacidade de tráfego de uma rede IP. A definição mais

utilizada refere-se a capacidade de tráfego em um enlace, se baseando em uma conexão direta entre dois *hosts*.

A largura de banda é um fator essencial, pois impacta diretamente na qualidade do áudio que pode ser fornecida em uma rede VoIP. Para garantir a largura de banda disponível para o uso adequado de aplicações VoIP, é necessário calcular a demanda exigida pelo serviço, através de informações de amostragem e quantização da voz, relacionando com a capacidade disponível na rede e desta forma optar pelo algoritmo de CODEC que mais se adequa com a estrutura disponível. É possível optar por codecs que oferecem melhor qualidade de áudio e conseqüentemente ocupe uma maior largura de banda através de uma taxa de transmissão maior, ou otimizar o uso da rede com Codecs de menor qualidade.

Portanto a qualidade da voz em VoIP está estritamente ligada ao tráfego de dados existente. O uso da rede compartilhando recursos de transmissão de voz e dados atrelados ao acesso a Internet comprometem a qualidade que é possível atingir com VoIP.

Pela necessidade da transmissão de voz com o uso de VoIP ocorrer em tempo real são necessários mecanismos que auxiliem nesta garantia de qualidade de serviço. Portanto os pacotes de voz que trafegam numa rede por serem sensíveis ao tempo precisam ter uma prioridade diferente dos demais pacotes. Desta maneira são utilizadas regras de QoS marcando os pacotes de voz para que estes possam ter prioridade no roteamento, minimizando a exposição da aplicação VoIP a limitações de tráfego na rede.

Outro fator a ser considerado é que em boa parte de uma conversação, há períodos de silêncios, com os usuários não falando ao mesmo tempo. Portanto é possível aplicar a técnica de supressão de silêncio como um benefício. Esta técnica visa suprimir os dados que são enviados através da detecção de silêncio em um dos pontos da conversação, reduzindo consideravelmente o volume de pacotes transmitidos, contribuindo para o uso mais inteligente dos recursos disponíveis.

Outra possibilidade é a utilização de técnicas de compressão dos cabeçalhos IP, UDP e RTP para a diminuição do tamanho dos pacotes trafegados. Porém todos estes fatores precisam ser devidamente avaliados

para que a excessiva utilização destas técnicas de forma incorreta não gerem perdas de integridade do áudio transmitido.

### **5.1.5 Disponibilidade**

Outro fator importante que merece destaque é a Disponibilidade, principalmente se utilizarmos como comparação as redes de telefonia tradicional. Disponibilidade corresponde basicamente ao tempo em que o sistema ou aplicação está disponível para o uso ao longo do tempo real. Fornece uma medida de garantia para a qualidade, relacionada principalmente com a robustez da rede, abordando aspectos relacionados a tolerância a falhas e rotinas de manutenção. É um aspecto de qualidade de serviço que deve ser levada em consideração principalmente na fase de projeto e implantação da rede. Depende de fatores como a disponibilidade de equipamentos da rede que são compartilhados para voz e dados, além de fatores externos como disponibilidade de rede pública, provedores de Internet ou servidores VoIP.

Com a utilização da convergência entre as redes, a disponibilidade torna-se um fator cada vez mais crítico para as organizações, devido a quantidade e importância das informações que trafegam pela rede, gerando uma dependência maior das redes de dados para a estabilidade de suas operações. Desta maneira os requisitos de disponibilidade superam a taxa de 99% ao longo do tempo.

## **5.2 Métodos de avaliação da qualidade da voz**

Existem alguns métodos e modelos que são utilizados para avaliar a qualidade de voz de uma rede. Alguns destes métodos trabalham de forma subjetiva podendo ocorrer variações de acordo com o usuário. Os modelos mais difundidos além de recomendados pelo ITU-T são:

- **MOS**, ( Mean Opinion Score) definido pela ITU P.800;

- **PSQM**, ( Perceptual Speech Quality Measure ) definido pela ITU P.861;
- **PESQ**, ( Perceptual Evaluation of Speech Quality ) definido pela ITU P.862;
- **E-Model**, Definido pela ITU G.107;
- **PAMS**, (Perceptual Analysis Measurement System) desenvolvido pela British Telecom.

Entre estes os mais aceitos mundialmente são o MOS e o E-Model, ambos são estimados através do nível de satisfação do usuário do serviço e serão mais detalhados no decorrer deste trabalho. Portanto para que os requisitos de avaliação de qualidade destes modelos sejam satisfatórios e a qualidade possa ser comparada com o sistema telefônico tradicional é preciso que o meio físico forneça alguns parâmetros que garantam a qualidade mínima exigida para a transmissão de voz e estabelecimento de comunicação.

### 5.2.1 MOS

Trata-se de um padrão baseado em uma escala numérica para quantificar e reportar a qualidade da voz após o processo de digitalização e compressão para sua transmissão. O MOS é o modelo de avaliação de qualidade referência, sendo o mais utilizado atualmente no mercado, os valores de MOS variam entre 1 (ruim) a 5 (Excelente), sendo o 5 comparado com o sistema telefônico tradicional, conforme a tabela 2.

<b>Qualidade da Voz</b>	<b>Avaliação</b>
Excelente	5
Boa	4
Regular	3
Pobre	2
Ruim	1

**Tabela 2 – Valores de MOS**

Segundo COLCHER (2005), a avaliação é realizada por um grupo aproximado de 30 usuários que são submetidos a 8 ou 10 segundos de áudio, em condições específicas. Com base nesta verificação a opinião dos usuários é coletada e inserida na escala. A vantagem do MOS é que apesar de ser um método subjetivo ele conta com a fidelidade da opinião de sensação de qualidade dos usuários. Porém como é um modelo baseado em testes, a partir de alterações de estrutura ou novos desenvolvimentos, novas requisições e elaborações de testes são necessárias.

Devido ao fato de se basear em uma avaliação com base na opinião de usuários do sistema, o MOS torna-se um método custoso, pois envolve um grande esforço para avaliação da qualidade da voz. Além disto, o MOS fornece um caráter subjetivo a avaliação, que pode variar de usuário a usuário.

Este método pode ser utilizado para avaliação da qualidade do CODEC utilizado em uma rede. Muitos CODECs utilizam técnicas de supressão de silêncio devido a grande parte da comunicação gerada ser silêncio. Porém para a maioria dos codificadores de voz a taxa de transmissão constante. Segue a classificação dos CODECs mais utilizados na tabela 3.

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

**Tabela 3: codec MOS (SILVA, 2005)**

É possível observar diferenças relevantes quanto à taxa de bits utilizada pelo codec e a relação direta com a sua qualidade avaliada pelo método MOS. O codec G.711 por exemplo é o que possui maior taxa de transmissão e consequentemente é o CODEC que mais consegue se assemelhar com a qualidade da telefonia tradicional. Porém existem outras opções que oferecem uma relação mais otimizada entre qualidade e taxa de transmissão.

## 5.2.2 E-Model

Este modelo permite avaliar subjetivamente a qualidade de voz como se a mesma fosse avaliada pelo usuário. O E-Model é um modelo computacional que avalia as variações dos diversos fatores que combinados geram atrasos e degradação da voz, afetando a qualidade da telefonia. Ele associa cada fator de degradação da qualidade de voz a um valor denominado "fator de prejuízo". Os fatores de prejuízo são analisados pelo E-Model que fornece o resultado de uma operação matemática para determinar R, que é um valor entre 0 a 100 numa escala crescente de qualidade (SOUZA e BUENO, 2010).

Como os equipamentos da rede degradam a qualidade de voz, o valor R pode ser calculado através da equação,  $R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$  onde:

- $I_s$ , se referente à soma de todas as degradações de sinal que ocorrem simultaneamente.
- $I_d$ , é o atraso fim-a-fim introduzido a chamada.
- $I_e$ , trata-se da degradação inserida pelo próprio equipamento utilizado.
- $A$ , se refere ao fator de vantagem, por exemplo, uma medida que os usuários aceitam uma qualidade menor devido as facilidades oferecidas.

O valor de R também pode ser relacionado com a classificação do modelo MOS para obter o nível de satisfação dos usuários conforme demonstra a figura 5.

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

**Figura 5 - Relação entre E-Model e MOS (SILVA, 2005)**

A vantagem do E-Model é a forma completa que abrange a estrutura e regras da rede de dados, no entanto muitas vezes fornecem valores e informações sobre fontes de problemas imprecisas prejudicando a avaliação de qualidade.

### **5.3 Homologação**

O conceito homologação será muito abordado neste trabalho, haja em vista que o objetivo principal do mesmo é homologar a rede de dados para o uso da tecnologia VoIP. O termo homologação se refere ao contexto de validar e atestar o funcionamento, por exemplo, de uma determinada solução ou aplicação em um cenário pré-determinado. Fora deste contexto determinado, a homologação passa a não ser mais reconhecida como válida e o funcionamento poderá ser comprometido.

Desta forma, todas as condições existentes no ambiente de testes são verificadas e um parecer de homologação é atribuído ao final do processo. Este parecer pode indicar que o alvo da homologação está homologado ou não para o uso, ou ainda pode conter restrições de homologação prevendo algumas situações em que não houveram um bom comportamento com relação aos testes realizados.

O processo básico de homologação se inicia com o estudo do sistema em questão. Na sequência são propostos os testes a serem realizados e os resultados esperados. A próxima etapa diz respeito a efetuar os testes e documentar os resultados e limitações identificadas. Caso não sejam encontradas limitações será confirmada a homologação do sistema. No caso de problemas encontrados será gerado um documento com as limitações do sistema para melhorias ou correções. Este processo inteiro dura alguns dias e é aconselhável que a homologação não seja definitiva, havendo um novo processo de homologação de forma periódica.

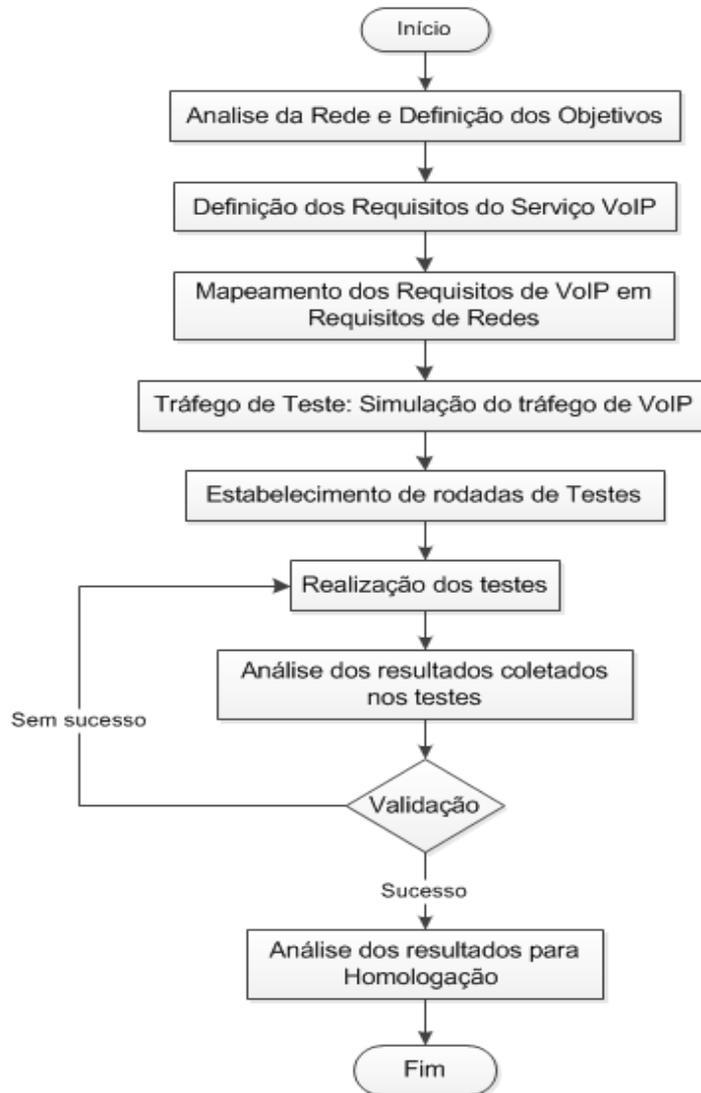
No âmbito do Brasil, um exemplo de órgão regulamentador que possui função de homologação é a ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicações). Ela prove a regulamentação de serviços e produtos na

área das telecomunicações. Portanto é observada a importância deste processo não só para o contexto deste trabalho como também para demais áreas de tecnologia muito em virtude do avanço das redes de computadores possibilitando o desenvolvimento de soluções e interconexões de equipamentos de diversos fabricantes e desenvolvedores.

## **6 Metodologia para Homologação**

Neste capítulo apresentaremos a metodologia proposta para avaliar e homologar o desempenho de uma rede de dados visando sua homologação para a implantação da tecnologia VoIP. A metodologia consiste em avaliar se a estrutura de rede em uso é adequada para suportar os serviços e aplicações VoIP. Esta avaliação considera a capacidade em termos de chamada e a qualidade pretendida, buscando chegar ao consenso de homologar a rede para o uso desta tecnologia com devida qualidade.

O princípio desta metodologia é avaliar o desempenho de uma rede de dados específica, levando em consideração os princípios de qualidade de serviço para aplicações VoIP. A metodologia é cíclica, caso os parâmetros de qualidade ou as medições realizadas não sejam satisfatórias, o processo pode ser reavaliado. A figura 6 apresenta a metodologia que consiste basicamente em 8 etapas.



**Figura 6: Fluxograma da metodologia**

Nesta metodologia é preciso realizar uma abstração da rede de dados em estudo, considerando apenas as informações relevantes ao contexto da homologação, possibilitando observar o comportamento da rede de dados.

## **6.1 Análise da Rede e Definição dos Objetivos**

A primeira etapa consiste em realizar um levantamento do cenário atual, evidenciando possíveis limitações aparentes da rede onde poderão surgir obstáculos para a implantação do VoIP. Trata-se de um estudo inicial para a definição dos objetivos requeridos para o serviço.

Neste momento as principais características da rede de dados são levantadas, como o número de estações, serviços existentes na rede, forma de acesso a Internet e estrutura da rede local para que seja construído o cenário atual a ser homologado. Esta etapa é fundamental para que o processo seja efetuado corretamente, com este estudo inicial e objetivo definido podem ser seguidas as próximas etapas da homologação.

## **6.2 Definição dos Requisitos do Serviço VoIP**

Nesta etapa são definidos os parâmetros de qualidade requeridos que deverão ser validados para homologação da rede. Os parâmetros de entrada para a homologação da rede são basicamente:

- Número de chamadas simultâneas;
- Horário de funcionamento do serviço;
- Codec a ser considerado;
- Utilização de supressão de silêncio;
- Qualidade mínima das chamadas VoIP;

Esses parâmetros são importantes para definir as características inerentes ao processo de homologação. O número de chamadas simultâneas em conjunto com o Codec a ser considerado e a utilização de supressão de silêncio definirão a vazão estimada. O horário de funcionamento do serviço vai definir os horários e quantidade dos testes a serem realizados. A qualidade mínima das chamadas VoIP trata-se de um valor subjetivo para expressar a qualidade esperada pelo cliente para o serviço VoIP. Estes parâmetros serão melhores especificados nas etapas subseqüentes do trabalho.

### **6.2.1 Qualidade VoIP e Codec de Voz**

Com relação à questão Codec, é esperado que Codecs com grande poder de compactação gerem uma perda maior de inteligibilidade do áudio transmitido, degradando a qualidade da fala. Existem desta forma diversos comportamentos associados a esta diferença de compactação dos distintos tipos de padrões que podem levar a geração de incidentes relacionados à qualidade

O G.711 é o codec mais recomendado para uso em VoIP. Uma vantagem é que o G.711 é o codec que causa menos degradação e devido a sua velocidade de compressão adiciona menor atraso aos pacotes de voz. Além disto, é um padrão bastante utilizado inclusive pelas próprias operadoras telefônicas em suas redes de conexão com o intuito de otimização do tráfego em suas redes. Porém, em contrapartida, utiliza uma maior largura de banda para transmissão, caracterizando um cenário mais oneroso e desta forma interessante para a possível homologação da rede.

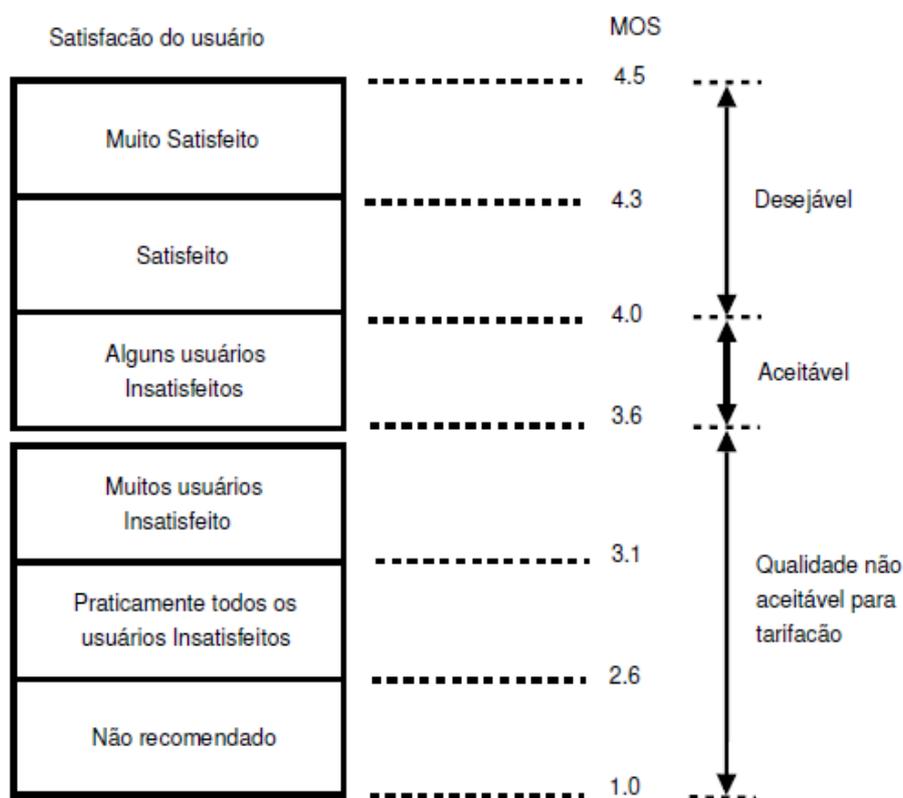
A metodologia não se limitará ao codec G.711, abordando também os demais Codecs recomendados pela ITU-T, por exemplo, o G.723.1 e o G.729. Estes padrões definem *Codecs* de baixa velocidade de compressão. O G.723.1 possui duas opções de taxa de bits, 5.3 e 6.4 kbit/s e o G.729 gera uma taxa de 8Kbit/s. Para ambos, a taxa de bits gerada é variável.

A baixa taxa de bits gerada é a vantagem do uso destes padrões de *Codecs*. Porém devido à complexidade computacional do algoritmo de compressão é gerado um aumento no atraso fim-a-fim do fluxo de voz.

## **6.2.2 Métrica de Qualidade de Voz Utilizada**

Para definição da qualidade de voz será utilizada como padrão a escala MOS. O valor do MOS será obtido através da conversão do Fator R baseado no modelo E-Model. Este por sua vez será utilizado por se tratar do modelo objetivo mais condizente com a realidade do projeto, utilizado para estimar os parâmetros de qualidade da rede de forma objetiva. A relação entre estas escalas de qualidade já foi exposta anteriormente na Figura 4. As medições realizadas fornecerão os requisitos para o cálculo e conversão destes valores em escala MOS.

É baseado nestes valores, convertidos para MOS, que será utilizado como parâmetro para aferição da qualidade subjetiva esperada. Deve-se considerar o valor da satisfação do usuário conforme a escala proposta na figura 7 para quantificar a qualidade mínima das chamadas VoIP, pois trata-se de uma pontuação adequada para o serviço de telefonia segundo a ITU-T. O valor recomendado de MOS é que seja superior ao valor quatro, para que desta forma atinja o nível desejável de comunicação, confirmado desta forma a homologação da rede para a tecnologia VoIP, oferecendo um nível de comunicação comparável ao sistema telefônico tradicional.



**Figura 7: Satisfação do usuário**

Com base nestes fatores iniciais será utilizado a fórmula do fator R já mencionada no item 5.2.2 deste trabalho e aplicada ao uso neste contexto. A maioria dos valores desta fórmula assumem valores default do E-Model padronizados pela recomendação (G.107, 2008), sendo adicionados os fatores que serão calculados através da rede e os parâmetros específicos para cada Codec juntamente com o uso de supressão de silêncio.

Em um cenário ideal o cálculo do fator R Padrão assume o seguinte formato e valores exposto na equação 6.1 a partir da recomendação (G.107, 2008):

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (6.1)$$

Para o valor de **R<sub>o</sub>** a recomendação do ITU-T apresenta a seguinte equação com os valores padrão:

$$R_o = 15 - 1.5 * (SLR + N_o) \quad (6.2)$$

Desta forma o **SLR** representa a degradação devido a alterações do sinal e **N<sub>o</sub>** a soma das potências de diferentes fontes de ruído. Usando os valores default da tabela 4 para **SLR** e expressões definidas na recomendação (G.107, 2008) para **N<sub>o</sub>**, o valor padrão para o componente **R<sub>o</sub>** = 94,77.

Parameter	Abbr.	Unit	Default value	Permitted range	Remark
Send loudness rating	SLR	dB	+8	0 ... +18	(Note 1)
Receive loudness rating	RLR	dB	+2	□5 ... +14	(Note 1)
Sidetone masking rating	STMR	dB	15	10 ... 20	(Notes 2,4)
Listener sidetone rating	LSTR	dB	18	13 ... 23	(Note 2)
D-Value of telephone, send side	Ds	–	3	–3 ... +3	(Note 2)
D-Value of telephone, receive side	Dr	–	3	□3 ... +3	(Note 2)
Talker echo loudness rating	TELR	dB	65	5 ... 65	
Weighted echo path loss	WEPL	dB	110	5 ... 110	
Mean one-way delay of the echo path	T	ms	0	0 ... 500	
Round-trip delay in a 4-wire loop	Tr	ms	0	0 ... 1000	
Absolute delay in echo-free connections	Ta	ms	0	0 ... 500	
Number of quantization distortion units	qdu	–	1	1 ... 14	
Equipment impairment factor	Ie	–	0	0 ... 40	(Note 5)
Packet-loss robustness factor	Bpl	–	4.3	4.3 ... 40	(Notes 3, 5)
Random packet-loss probability	Ppl	%	0	0 ... 20	(Notes 3, 5)
Burst ratio	BurstR	–	1	1 ... 8	(Notes 3, 6)
Circuit noise referred to 0 dBr-point	Nc	dBm0p	□70	□80 ... □40	
Noise floor at the receive side	Nfor	dBmp	□64	–	(Note 3)

Tabela 4: Valores default e faixa de valores permitidos para o Fator R (G107, 2008).

Para o componente **Is**, seguindo as mesmas recomendações temos o seguinte contexto exposto na equação 6.3.

$$Is = Iolr + Ist + Iq \quad (6.3)$$

Onde o **Iolr** representa a perda de qualidade causada pelos ruídos enviados e recebidos (**OLR**). O **Ist** se refere à degradação devido ao eco de efeito local. Já o **Iq** representa a distorção de quantificação causada pela digitalização do sinal. Baseando-se nos valores default da recomendação (G.107, 2008) este parâmetro assume o valor **Is** = 1,43.

O componente **Id** apresenta a seguinte composição conforme equação 6.4.

$$Id = Idte + Idle + Idd \quad (6.4)$$

O fator **Idte** trata-se de uma estimativa referente às degradações devido ao eco do lado do emissor. Da mesma forma o **Idle** apresenta o eco resultante do receptor. Já o fator **Idd** representa a degradação causada pelo atraso absoluto (**Ta**) sendo um fator importantíssimo e com grande possibilidade de variabilidade na equação. Contudo, assumindo-se valores default e valores desejados para estes parâmetros o resultado é **Id** = 0,14.

O componente **Ie** representa o fator de perturbação causada pelo equipamento utilizado, sendo relacionado diretamente ao codec utilizado e ao uso de supressão de silêncio. Seu valor pode ser consultado e alterado utilizando a Tabela 5. Além da perda de codificação este fator considera a degradação por perda de pacotes e a robustez que o codec tem a essas perdas apresentando na recomendação (G.113, 2007). Desta forma o **Ie** assume por default o valor 0.

Codec type	Reference	Operating rate [kbit/s]	I <sub>e</sub> value
PCM (see Note)	G.711	64	0
ADPCM	G.726, G.727	40	2
	G.721, G.726, G.727	32	7
	G.726, G.727	24	25
	G.726, G.727	16	50
LD-CELP	G.728	16	7
		12.8	20
CS-ACELP	G.729	8	10
	G.729-A + VAD	8	11
VSELP	IS-54	8	20
ACELP	IS-641	7.4	10
QCELP	IS-96a	8	21
RCELP	IS-127	8	6
VSELP	Japanese PDC	6.7	24
RPE-LTP	GSM 06.10, full-rate	13	20
VSELP	GSM 06.20, half-rate	5.6	23
ACELP	GSM 06.60, enhanced full rate	12.2	5
ACELP	G.723.1	5.3	19
MP-MLQ	G.723.1	6.3	15
NOTE – For every PCM process the number of quantization distortion units, qdu (which should be determined according to Table 9-1) needs to be considered as a separate input parameter to the E-model.			

**Tabela 5: Valores para I<sub>e</sub> (G.113, 2007).**

O fator de vantagem (A) define a expectativa do usuário em relação ao serviço. O valor deste fator depende do tipo de sistema de comunicação utilizado e seus valores estimados pela (G.107, 2008) estão contidos na tabela 6 sendo o valor default **A = 0**.

Communication system example	Maximum value of A
Conventional (wirebound)	0
Mobility by cellular networks in a building	5
Mobility in a geographical area or moving in a vehicle	10
Access to hard-to-reach locations, e.g., via multi-hop satellite connections	20

**Tabela 6: Valores para o Fator de vantagem (A) (G107, 2011).**

Desta forma com os valores iniciais a fórmula de cálculo R assume os seguintes valores

$$R = 94.77 - 1.43 - 0.14 - 0 + 0$$

$$R = 93.2$$

As degradações intrínsecas que ocorrem com a conversão do sinal reduzem o valor máximo de R para 93.2 representando um valor considerado de alta qualidade para ligações VoIP, comparado ao sistema telefônico tradicional. Desta forma o valor máximo possível para MOS é de 4,4 conforme demonstrado na Figura 4. Porém em um cenário real este valor tende a sofrer degradações por limitações ou características do sistema. É recomendando o uso dos valores padrão contido na tabela 4 caso não seja possível determinar alguns dos mesmos.

É possível ainda simplificar a fórmula do fator R se ignorarmos os efeitos de outras deficiências da seguinte forma exposta na equação 6.5.

$$R = R_o - I_e - I_d \quad (6.5)$$

Com o valor de R calculado o mesmo será convertido em um valor da escala MOS para a sua aferição ao nível de qualidade. Para tanto será utilizada a fórmula abaixo especificada na recomendação (G.107, 2008) para esta conversão de valores.

**Para  $R < 0$ :**  $MOS_{CQE} = 1$

**Para  $0 < R < 100$ :**  $MOS_{CQE} = 1 + 0.035R + R(R - 60)(100 - R)7 \cdot 10^{-6}$

**Para  $R > 100$ :**  $MOS_{CQE} = 4.5$

Como pode ser observado, se o valor de R for menor que 6,5, então o valor de MOS será inferior a 1. Desta forma o valor R se restringe normalmente a faixa de 6,5 à 100.

### **6.3 Mapeamento dos Requisitos de VoIP em Requisitos de Redes**

Baseado nos requisitos dos serviços VoIP (Seção 6.2), serão identificados os requisitos de rede necessários. Para aplicações multimídia,

como a transmissão de voz através de VoIP, são necessárias garantias de Qualidade de Serviço (QoS) em tempo real. Nesta metodologia são considerados os seguintes parâmetros de QoS: Atraso, variação do atraso, perda de pacotes e vazão.

### 6.3.1 Recomendação de limites de Atraso, Variação de Atraso e Taxa de Perdas

Esta etapa da metodologia proposta especifica o modo de mapeamento dos parâmetros de qualidade de voz na escala MOS na forma de requisitos de rede. O valor MOS pode ser obtido através da conversão do valor Fator R, resultado do E-Model. O fator R pode ser mensurado através de fórmulas matemáticas, que entre outros fatores, se utiliza principalmente de métricas da rede e codec utilizado para o seu cálculo.

Em um cenário ideal, com o MOS atingindo seu valor máximo, os parâmetros de rede devem respeitar os valores especificados na tabela 7, baseado nas recomendações (ETSI, 1998). A recomendação para uma boa qualidade nas chamadas VoIP é que o atraso fim-a-fim não ultrapasse 150ms. Para a variação de atraso o valor não deve ser superior a 50ms e a perda de pacotes o recomendado é ser inferior a 0,5% do total de pacotes enviados.

Estes são os parâmetros de rede básicos que serão analisados e por convenção devem se manter dentro deste contexto. Caso não sejam respeitados haverá alterações na qualidade da voz perceptíveis aos usuários.

Categorias de Qualidade	Atraso fim-a-fim	Média das perdas de pacotes	Variação do atraso	Satisfação do Usuário
Melhor	< 150 ms	0,5%	< 50 ms	Muito Satisfeito
Alto	< 250 ms	3%	< 75 ms	Satisfeito
Médio	< 350 ms	15%	< 125 ms	Alguns Usuários Insatisfeitos
Baixo	< 450 ms	25%	< 225 ms	Muitos Usuários Insatisfeitos

**Tabela 7: Parâmetros de referência de Rede**

Estes requisitos terão influência no cálculo do valor de MOS que será obtido. Utilizando como referência o E-Model para o atraso, seu valor é atribuído a **Idd**, que faz parte do componente **Id** na fórmula de cálculo de R. Conforme (G.107, 2008) atrasos totais (**Ta**) menores que 100ms podem ser desconsiderados. Caso o atraso seja maior que 100ms deve-se utilizar a equação 6.6.

Para  $Ta \leq 100$  ms:

$$Idd = 0$$

Para  $Ta > 100$  ms:

$$Idd = 25 \left\{ \left( 1 + X^6 \right)^{\frac{1}{6}} - 3 \left( 1 + \left[ \frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\} \quad (6.6)$$

Onde:

$$X = \frac{\log \left( \frac{Ta}{100} \right)}{\log 2} \quad (6.7)$$

Para o caso da taxa de perda de pacotes, seu valor impacta diretamente a componente **Ie** do cálculo de R. Na recomendação (G.107,2008) o fator de perda efetivo é dado pela seguinte equação 6.8.

$$Ie-eff = Ie + (95 - Ie) \cdot \frac{Ppl}{\frac{Ppl}{BurstR} + Bpl} \quad (6.8)$$

Onde **Bpl**, representa a robustez do Codec a perdas, seu valor pode ser consultado em (G.113, 2007) no apêndice 1 desta recomendação. **Ppl** significa a taxa de perda efetiva, calculada através da relação entre o número de pacotes perdidos sobre o número de pacotes transmitidos.

O elemento BurstR representa o tipo de perda de pacotes, aleatória ou por rajada. Caso haja perdas em rajada a perda de qualidade será mais

perceptiva ao usuário sendo necessário a utilização de uma distribuição de Markov conforme (G.107,2008).

Com relação a Variação do atraso, apesar de não ser um parâmetro diretamente ligado ao cálculo do MOS, o mesmo influencia negativamente a perda de pacotes caso o tempo seja elevado, devido a limitação de tamanho de buffers.

### 6.3.2 Cálculo da Vazão

Com a definição dos parâmetros iniciais de VoIP requeridos, é preciso calcular a vazão que será gerada baseada principalmente no codec utilizado e número de chamadas simultâneas requeridas. Esta vazão é dependente do número de chamadas simultâneas, Codec a ser considerado e utilização ou não da supressão de silêncio.

Neste ponto temos basicamente dois cenários existentes que coincidem com a utilização ou não do fator de supressão de silêncio. Desta forma caso este fator não seja utilizado será gerado um fluxo constante de dados CBR (*Constant Bit Rate*) que será multiplicado pelo número de chamadas simultâneas requeridas. Caso seja adotado a supressão de silêncio para otimização da banda um fluxo VBR (*Variable Bit Rate*) será gerado por chamada, no entanto devido ao número de chamadas simultâneas, os fluxos VBR serão equivalentes ao longo do tempo, caracterizando um tráfego CBR agregado constante.

Ambos os tipos de tráfego possuem características próprias. O tráfego CBR pelo fato de gerar um fluxo constante necessita de uma maior vazão, porém tende a oferecer uma melhor qualidade. Já o tráfego VBR possui uma melhor otimização dos recursos, sendo muito útil quando existem limitações de banda na rede.

A tabela 8 apresenta as características de tráfego inerente aos principais Codecs recomendados pela ITU-T, sem a habilitação da supressão de silêncio.

Codec	Taxa nominal (kbps)	Tamanho do pacote de voz (ms)	Tamanho do payload (bytes)	Tamanho total do datagrama IP (bytes)	Taxa a nível IP (kbps)
G.711	64	20	160	200	80,00
G.726	32	15	60	100	55,20
G.729	8	20	20	60	24,00
G.723.1m	6,4	30	24	64	17,07
G.723.1a	5,3	30	20	60	16,00

**Tabela 8: Características de rede dos Codecs**

Por exemplo, caso seja adotado o G.711 sem a supressão de silêncio habilitada, o fluxo de dados gerado será constante de 64 kbit/s a nível de Codec. Este valor sofre incrementos até chegar ao nível da rede, principalmente pelo encapsulamento através dos protocolos RTP, UDP e por ultimo IP. Desta maneira, considerando a ação destes protocolos, e considerando o tamanho do pacote de uma aplicação de voz de 200 bytes, o fluxo gerado será de 80 kbit/s. Com estes fatores definidos é possível estimar se alguns fatores iniciais da rede serão atendidos, principalmente relacionados a vazão.

Em suma, o cálculo da vazão necessária caso não seja habilitado a supressão de silêncio é dada por:

$$\text{VazãoVoIP} = \text{NúmeroChamadas} * \text{TaxaDoCodecANívelIP}$$

Por exemplo, para o caso de um trafego CBR, gerado pela ausência da supressão de silêncio, proveniente do Codec G.711 e supondo um número de 10 chamadas simultâneas, a vazão a ser garantida pela rede é de 800kbps.

Para casos onde se utilize o fator de supressão de silencio, o tráfego por chamada deverá ser variável sofrendo uma redução. Conforme PETIT, (2005) durante uma chamada telefonica por se tratar de uma conexão half-duplex e com intervalos de pausa, falamos em média durante cerca de 35% do tempo.

Porém é conveniente estimar um valor de 50% abrangendo um padrão maior de conversação e levando em consideração o funcionamento do algoritmo de VAD (*Voice Activity Detection*). No entanto o uso destas técnicas adicionam um atraso na codificação da voz devido ao caráter preditivo que possuem.

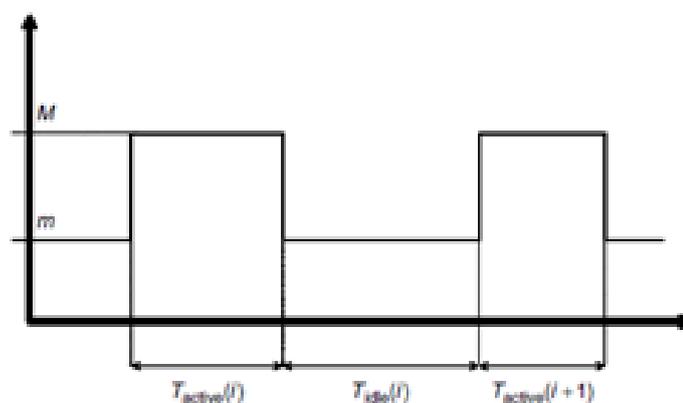
Com base nisto é possível estimar o tráfego gerado com Codecs que utilizam a supressão de silêncio utilizando os valores de transmissão contidos na tabela 8, acrescentados pelo fator de tráfego variável por chamada esperado.

Desta maneira (PETIT, 2005) apresenta a fórmula para o cálculo da largura de banda necessária quando houver um número N de conversações simultâneas não correlacionadas a uma mesma conexão. Como as chamadas simultâneas não estão ativas durante todo o tempo, a largura de banda exigida será menor do que simplesmente o produto da multiplicação do número de chamadas simultâneas pela taxa efetiva do Codec.

Portanto caso N seja elevado a largura de banda será N vezes a taxa de transmissão de bits média de uma conversação conforme abaixo:

$$\text{VazãoVoIP} = N * ( aM + (1 - a) m )$$

Onde **M** é a taxa do codec na atividade de voz e **m** a taxa do codec no período de silêncio. A figura 8 apresenta este comportamento da atividade de transmissão.



**Figura 8: Estados ativos e inativos dos Codecs (PETIT, 2005)**

Aplicando a fórmula para o codec G.7231 com um número de 10 chamadas simultâneas, por exemplo, o cálculo seria desta forma:

$$M = 14,83 \text{ kbps}, m = 3,73 \text{ kbps}, a = 0,5$$

$$\text{VazãoVoIP} = 10 * ( 0,5 * 14,83 + ( 1 - 0,5 ) * 3,73 ) = 92,8 \text{ kbps}$$

Um outro fator que não pode ser desconsiderado neste ponto é o tráfego de fundo existente na rede. Este será somado a vazão gerada, competindo com as aplicações VoIP que serão implantadas e podem afetar o seu correto funcionamento. Ambientes que exigem um maior desempenho da rede tendem a oferecer resultados insatisfatórios ou muita variabilidade na qualidade de comunicação.

## 6.4 Tráfego de Teste: Simulação do tráfego de VoIP

Após as definições dos parâmetros de rede será necessário especificar o tráfego de testes que será gerado para avaliação da rede de dados simulando um tráfego VoIP. Este tráfego possui características próprias baseado nos parâmetros adotados para homologação.

O tráfego de teste gerado será UDP, com o tamanho de cada pacote conforme especificado anteriormente **na tabela 8**. O tráfego gerado para qualquer Codec desta segue os mesmos princípios. O tamanho do pacote de voz gerado por cada codec é dado em intervalos de tempo. Desta maneira o cálculo do número de pacotes por segundo que serão transmitidos é dado por:

**PPS** = Bit Rate do codec / Tamanho do *payload* de voz

Por exemplo para o Codec G.711 o cálculo baseado nos parâmetros da Tabela 8 seria de:

$$\text{PPS} = 64000 / (160 * 8)$$

$$\text{PPS} = 50$$

Para o caso de um tráfego de teste CBR sem supressão de silêncio proveniente, por exemplo, do codec G.711 supondo um número de 10 chamadas simultâneas os parâmetros.

Vazão do agregado: 800kbps

Tamanho do Pacote: 200 Bytes

Pacotes por segundo : 500

Como mencionado na seção 6.3.2, para o caso de Codecs com supressão de silêncio, como, por exemplo, os Codecs G.729 e G.723.1, apesar do tráfego gerado por ligação ser do tipo VBR, o tráfego de teste gerado será CBR , devido a simulação do tráfego agregado de voz gerado pelo número de chamadas simultâneas.

Para o Codec G.729, supondo um número aleatório de 10 chamadas simultâneas, o tráfego de testes segue os valores abaixo:

Vazão do agregado estimada:  $24\text{kbps} * 0.5 * \text{NúmeroChamadas} = 120\text{kbps}$

Tamanho do Pacote: 60 Bytes

Já para o Codec G723.1:

Vazão do agregado estimada:  $17,7\text{kbps} * 0.5 * \text{NúmeroChamadas} = 85,35\text{kbps}$

Tamanho do Pacote: 64 Bytes

O fluxo de testes gerado será sempre analisado no sentido sainte visando homologar o cenário local de rede que é a proposta deste estudo. Em ambos os casos será gerado um tráfego intrusivo que se refere à injeção controlada de pacotes na rede.

## **6.5 Estabelecimento de rodadas de Testes**

É necessário realizar um planejamento para que seja realizada a coleta dos dados que visa fornecer as informações necessárias para a homologação da rede. Para tanto é necessário planejar os dias e horários que as medições devem ser realizadas, evitando encontrar situações que não refletem a realidade do ambiente.

Todas as coletas devem ser registradas, com o máximo de informações possíveis, para que possam ser contabilizadas no processo de homologação.

Para tanto serão estipuladas rodadas de testes onde os dados são coletados e para cada rodada valores de MOS serão calculados e avaliados.

O termo rodada de testes se refere a uma rotina de testes que fornecerá resultados preliminares sobre as medições. Dentro de cada rodada de testes, será realizado um número definido de testes. Cada teste fornecerá um resultado próprio que será agregado aos demais testes da mesma rodada para comparações e definições de um valor médio. Ao final será obtido os valores referentes a cada rodada de testes que em suma trata-se dos valores médios dos testes de cada rodada.

Neste momento dois fatores são importantes para a definição sobre as rodadas de testes: período e quantidade de rodadas de testes.

### **6.5.1 Período dos Testes**

Com base no parâmetro inicial do horário de uso da rede, é possível definir o período em que os testes devem ser realizados. As medições devem ser constantes para abranger padrões e características da rede, evidenciando possíveis picos de utilização da rede.

A intenção neste ponto é que testes sejam realizados durante o período de um dia com medições espaçadas no tempo buscando garantir uma quantidade de amostras relevantes para análise.

Por exemplo, programar rodadas de testes iniciando as 09:00hs com novos testes sendo iniciados a cada 20 minutos e assim sucessivamente.

### **6.5.2 Quantidade de Rodadas de Testes**

A quantidade de rodadas de testes é outro fator diretamente ligado e delimitado pelo horário de funcionamento da rede. Com base nesse valor inicial é possível estimar a quantidade de rodadas de testes que se fazem necessárias para o completo monitoramento da rede.

Em um primeiro momento foi definido por convenção que sejam realizadas rodadas de testes a cada hora, com testes a cada vinte minutos,

totalizando três medições por hora. Busca-se abranger com medições, distintos intervalos de tempo onde situações sazonais podem ocorrer em uma rede de dados.

Desta forma é possível verificar se há uma grande variação na rede que indique que a frequência dos testes deve ser ampliada, ou que a faixa de horários deve sofrer um deslocamento.

A cada rodada serão realizados testes com duração de 2 minutos, este valor foi utilizado por se entender como um valor médio de duração de chamadas entre unidades. Um estudo mais aprofundado poderia ser realizado para cada cliente, verificando o tempo médio de duração de chamadas entre unidades para oferecer um cenário mais próximo da realidade, desde que haja um meio confiável para consultar estes dados. Pretende-se com esse leque de medições abranger as características próprias da rede em questão.

O numero de rodadas de testes é calculado através da carga horária de uso da rede. As rodadas de testes serão realizadas utilizando os parâmetros e especificação abaixo como valores iniciais:

- **Periodicidade:** 20 min
- **Duração de cada teste:** 2 min
- **Fluxo de destino:** Filial -> Matriz
- **Característica do Tráfego de Teste:** Calculado como definido na Seção 6.4.

A proposta é que, mesmo existindo uma rede de comunicação entre unidades, a metodologia seja executada para cada unidade como um cenário isolado da rede, devido a possibilidades de cenários distintos de comunicação que podem gerar alterações no resultado. Será gerado um fluxo de saída para uma unidade, onde as medições serão baseadas na origem do tráfego.

Devido à característica expansiva das redes de computadores, é indicado que esta metodologia de teste seja aplicada semestralmente, a fim de abranger mudanças na estrutura e no tamanho de terminais conectados, antecipando desta forma a identificação de incidentes que podem denegrir a qualidade oferecida.

## 6.6 Realização dos testes

Para a execução da metodologia baseada em testes na rede um assunto importante é definir as ferramentas que serão utilizadas para aplicar a metodologia propriamente dita e realizar as devidas medições na rede. Este item acaba não fazendo parte da metodologia propriamente dita, mas sem uma definição da ferramenta a ser utilizada fica inviável a sua execução.

No caso deste estudo seria possível utilizar ferramentas disponíveis no mercado ou prover o desenvolvimento de um aplicativo que faça as funções de medições da rede para fornecer os dados a serem analisados. Isto dependerá do ambiente fornecido para homologação bem como as características da rede.

Para a execução deste estudo analisamos ferramentas disponíveis no mercado capazes de fornecer as métricas necessárias, explícitas na seção 6.3, para a avaliação da rede de dados. Para tanto algumas ferramentas foram avaliadas e optou-se para utilização do OWAMP que continha todos os requisitos necessários.

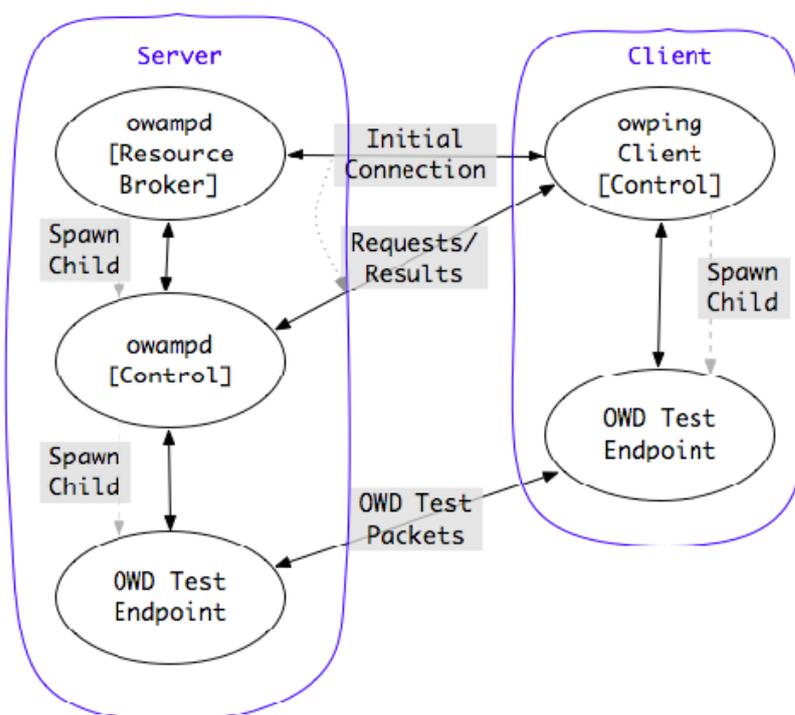
### 6.6.1 OWAMP

O OWAMP é um exemplo de implementação do protocolo de mesmo nome *One-Way Active Measurement*. O OWAMP permite determinar métricas de atrasos e perdas de pacotes em ambos os sentidos. O principal objetivo de seu desenvolvimento se refere a diagnosticar incidentes na rede como congestionamentos, roteamentos assimétricos e enfileiramento de pacotes.

A especificação do OWAMP baseia o seu funcionamento no tradicional modelo cliente/servidor conforme figura 9 e estabelece que o protocolo é dividido em duas partes OWAMP-Control e OWAMP-Test.

OWAMP-Control é responsável pelo estabelecimento, configuração de parâmetros e controle da conexão, utilizando para isto o protocolo TCP. Disponibiliza os testes e permite a transferência dos resultados obtidos para o cliente.

OWAMP-Test por sua vez requisita a execução dos testes propriamente ditos, utilizando para isso o protocolo UDP. O mesmo se utiliza das configurações definidas durante o processo de conexão, controlando a troca de pacotes entre os pontos de medição.



**Figura 9: Arquitetura da ferramenta OWAMP.**

Basicamente o funcionamento do OWAMP se resume ao cliente owping requisitar testes ao servidor owampd, este por sua vez já foi previamente iniciado com as configurações específicas, pode aceitar ou recusar a requisição de testes. Com a confirmação da conexão de testes, os mesmos são executados com base nos parâmetros definidos e os resultados retornados ao cliente. Para o processo de conexão cliente/servidor é possível utilizar um processo de autenticação de usuário e senha com suporte a criptografia, para fornecer segurança ao processo.

Um requisito importante para as medições no OWAMP é a configuração de um servidor NTP comum entre os pontos de medição, sincronizando desta forma os horários, oferecendo confiabilidade nas medições realizadas. Outro requisito importante que afeta o funcionamento da ferramenta é o firewall. É necessário que as portas de controle e tráfego de testes sejam liberadas.

A natureza de código-fonte aberto do OWAMP torna possível novas implementações e melhorias constantes no protocolo tornando um diferencial. Com relação a implementações do protocolo OWAMP, existem principalmente duas implementações disponíveis, OWAMP e J-OWAMP.

A implementação OWAMP foi desenvolvida para ambientes Unix pelo grupo *Internet2*. Trata-se da implementação de referência e desta forma seu nome coincide com o protocolo. O OWAMP segundo seus desenvolvedores está em constante evolução, sendo a última versão a 3.3 e a mesma está disponível para download no site (OWAMP, 2012).

O J-OWAMP por sua vez é uma implementação do protocolo OWAMP na linguagem JAVA desenvolvida pelo Instituto de Telecomunicações da Universidade de Aveiro em Portugal. Trata-se de uma alternativa a implementação da *internet2*. Possui a vantagem de portabilidade para qualquer sistema operacional devido a ser desenvolvido em JAVA.

## **6.7 Análise dos resultados coletados**

Com as rodadas de testes definidas, as mesmas serão executadas e seus resultados precisam ser tratados e sofrer um processo de validação. Esta etapa, portanto consiste em coletar os dados, avaliá-los para que forneçam informações coerentes a respeito da rede, adequando o modelo à realidade, se necessário.

Esta análise visa obter confiabilidade nas medições realizadas, fornecendo subsídios para a verificação dos requisitos de qualidade esperados. Dependendo da variabilidade dos dados coletados o processo precisa ser revisto havendo um redimensionamento do modelo para se adequar as variabilidades da rede oferecendo maior proximidade do cenário real expressado através das medições.

### **6.7.1 Análise em cada teste**

Cada teste realizado através da ferramenta irá fornecer, após o tratamento dos dados, os valores médios de atraso, jitter e a taxa de perda de pacotes, que permitirão posteriormente calcular o MOS médio, estimado nestes 2 minutos de duração do teste, utilizando para isto os cálculos contidos na seção 6.3.1 que possuem esta finalidade.

Os valores dos requisitos de rede coletados em cada teste são tratados estatisticamente, onde serão calculados o Desvio Padrão e o Intervalo de Confiança, para que além de oferecer confiabilidade possam ser comparados com os outros testes realizados na mesma rodada. Como parâmetro para o Intervalo de Confiança será utilizado o padrão de 95% a fim de se garantir com 95% de confiança que o valor médio se encontra entre os limites calculados.

### **6.7.2 Análise em cada rodada de testes**

Dentro de cada rodada de testes, será feita uma comparação entre os valores médios calculados nos outros testes para validação das medições, calculando, um MOS médio para a rodada de testes.

Se o valor do Intervalo de Confiança de 95% não oferecer a precisão esperada, devido a uma variabilidade excessiva sobre ao valor médio dentro de uma mesma rodada de testes, a situação precisa ser avaliada. Caso isto ocorra a rodada precisa ser aprimorada para tentar minimizar a probabilidade de erro nas medições.

Neste caso da variabilidade ser detectada, opta-se por dobrar a quantidade de testes na rodada atual. O processo pode ser repetido caso seja necessário, totalizando no máximo 12 testes por rodada que seria o limite desta metodologia.

Caso as condições estatísticas básicas estabelecidas não forem satisfeitas poderá ser necessário retornar as etapas anteriores do modelo para que os parâmetros e estratégia sejam reavaliados, visando garantir melhorias no processo de homologação da rede em questão.

## 6.8 Análise dos resultados para Homologação

A etapa de análise dos resultados visa interpretar os resultados obtidos através da execução das rodadas de testes inerentes ao contexto de homologação na rede. Os dados coletados em cada rodada de testes que foram tratados através de métodos estatísticos convencionais e convertidos em escalas de qualidade estabelecidas serão apresentados para validação sobre a homologação da rede.

Após o tratamento os valores coletados são convertidos para a escala MOS, encontrando um MOS médio de cada rodada de testes. Desta forma serão avaliados o valor MOS médio aceitável para o modelo. Para que haja a homologação da rede, os resultados do MOS médio de cada rodada de testes necessitam ser iguais ou superiores ao estipulado como requisito de qualidade mínima das chamadas VoIP na entrada do modelo.

Com os valores de MOS coletados em cada teste de cada rodada de testes, será, calculado um valor médio de MOS para o estudo. Este valor calculado será utilizado como a classificação da qualidade alcançada durante o processo de avaliação. Além disto serão calculadas medidas de Desvio Padrão e Intervalo de Confiança de 95% para o valor de MOS. Com base nestes dados será verificado através de gráficos se a qualidade mínima esperada foi atingida durante o processo de medições para a homologação da rede.

Desta forma é possível obter uma forma conclusiva e não subjetiva de medir a qualidade de voz na rede. Outros requisitos de rede também podem ser exclusivamente analisados caso se julgue necessário. Desta forma é usual e interessante que os dados sejam tratados e apresentados em gráficos e tabelas, por exemplo, para um melhor entendimento.

É esperado neste momento que se obtenham resultados conclusivos com base nas informações coletadas que foram previamente validadas estatisticamente. A apresentação dos dados deve ser realizada em forma de gráficos e tabelas para que fiquem objetivos sua interpretação para a percepção sobre a homologação da rede. Caso os resultados sejam insatisfatórios, medidas deverão ser tomadas ou com a redução de parâmetros

de entrada ou melhorias na garantia de qualidade da rede para que o ciclo metodológico possa ser reiniciado.

A metodologia não visa fornecer um relatório completo para informar o usuário quais adequações devem ser realizadas na rede para que a mesma possa ser homologada no cenário proposto. Porém, a mesma oferece subsídios para que estas conclusões sejam alcançadas, fornecendo informações sobre quais requisitos de rede tiveram maior impacto no processo de homologação. Desta maneira é possível chegar a conclusões iniciais do que precisa melhorar para a homologação.

Além disto, em virtude do conhecimento existente principalmente sobre a operação dos Codecs e uso de supressão de silêncio, é possível alterar o processo inicial de homologação para que a rede possa ser homologada sob um outro contexto.

## **7 Estudo de caso**

Com o esboço da metodologia definida, será necessário aplicá-la ao cenário proposto para homologação. Será analisado, através dos parâmetros de entrada, se refletem a qualidade esperada na rede. Com base nas amostras coletadas será feita a validação das informações para chegar ao consenso de homologação da rede. Com base nisto poderá determinar a utilidade da metodologia proposta.

Para a validação da metodologia proposta neste trabalho, realizou-se a aplicação da mesma em um cenário real para sua avaliação. Seguindo os passos propostos a mesma foi executada conforme segue nos próximos itens.

Em virtude da dificuldade da realização dos testes em ambientes privados, optou-se por realizar em estudo controlado utilizando uma pequena rede local com acesso a internet e para simulação da matriz da organização utilizamos servidores da própria UFSC com acesso de grande velocidade a Internet.

### **7.1 Análise da Rede e Definição dos Objetivos**

O cenário proposto para homologação trata-se de uma pequena rede da filial de uma empresa que tem como objetivo se comunicar com sua matriz através de VoIP utilizando sua conexão de Internet. O ambiente possui uma conexão com a Internet ADSL contratada de uma operadora telefônica com a taxa nominal de 5 MB. A rede retratada na figura 10 dispõe atualmente de seis computadores e uma impressora interligados via rede cabeada. Não existe servidores internos ou nada que justifique um grande fluxo interno de dados.

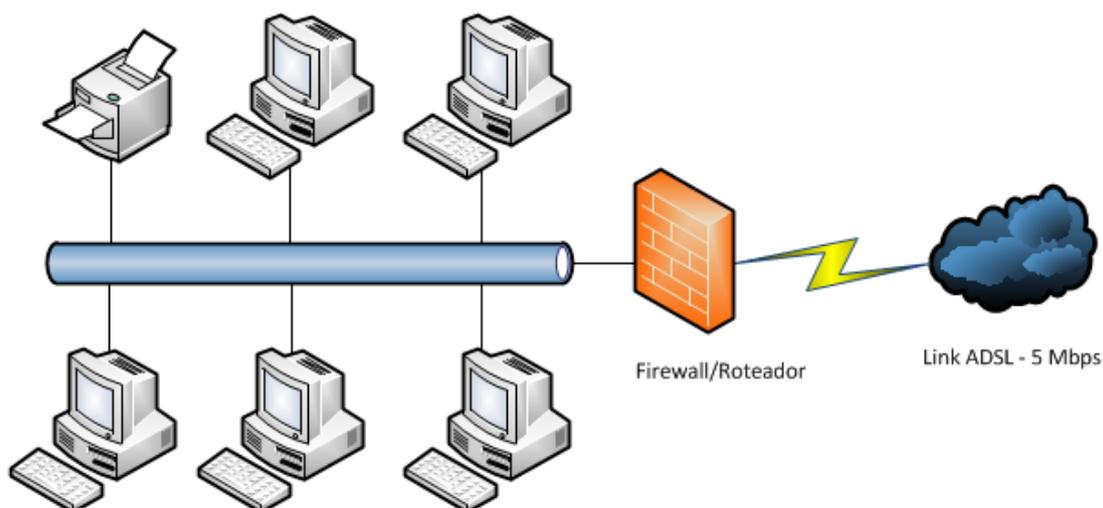


Figura 10: Diagrama da rede local.

## 7.2 Definição dos Requisitos do Serviço VoIP

Com a análise inicial da rede efetuada é necessário especificar os requisitos do serviço VoIP requeridos pelo cliente. Com as condições iniciais avaliadas na etapa 1 da metodologia é possível observar que se trata de uma pequena empresa com limitações claras quanto ao fluxo devido à largura de banda existente. Desta forma é possível afirmar que não seria viável o tráfego de um alto número de chamadas simultâneas com Codecs de melhor qualidade.

Diante deste cenário e baseado-se nas necessidades do cliente são definidos os requisitos que são os parâmetros de entrada para a homologação da rede.

- **Número de chamadas simultâneas:** Duas
- **Horário de funcionamento do serviço:** 08:00 às 12:00hs e 14:00 às 18:00hs, dias úteis.
- **Codec a ser considerado:** G.711
- **Utilização de supressão de silêncio:** Não
- **Qualidade mínima das chamadas VoIP:** MOS > 4 ou Desejável

Optou-se por estes valores por representar a necessidade da empresa em número de chamadas simultâneas buscando a melhor qualidade possível na voz transmitida via VoIP. Com base nestes parâmetros é possível dar prosseguimento as próximas etapas previstas para homologação da rede com uma qualidade desejável de valor 4 ou superior na escala MOS.

De forma resumida é possível caracterizar o cenário de homologação do cliente conforme abaixo:

**Cenário:** Pequena empresa comum, fluxo de duas chamadas simultâneas para a unidade matriz utilizando o codec G.711 sem supressão de silêncio, com horário de funcionamento das 8:00hs às 12:00hs e 14:00hs às 18:00hs em dias úteis.

### **7.3 Mapeamento dos Requisitos de VoIP em Requisitos de Redes**

Com base no valor mínimo de qualidade definido no valor 4 da escala MOS, é necessário avaliar quais os requisitos de rede necessários para que este objetivo seja alcançado. Desta forma estes requisitos seguem conforme as próximas etapas subsequentes.

#### **7.3.1 Recomendação de limites de Atraso, Variação de Atraso e Taxa de Perdas**

Como o valor de MOS será calculado através da conversão do Fator R obtido através da equação descrita na seção 6.2.2, não é possível definir um valor correto para estes parâmetros, já que pode ser influenciado por diversos fatores, mas baseado-se na qualidade mínima exigida para homologação é possível convencionar alguns limites de valores.

Conforme verificado, é requerida uma alta qualidade para os serviços VoIP neste ambiente de rede. Desta forma serão necessários que os requisitos de rede sejam minimamente atendidos para que se alcance um MOS superior

a 4. Portanto para que este valor seja alcançado será necessário que a rede garanta os valores recomendados conforme a tabela 7 para atraso inferior a 150ms, variação de atraso inferior a 50ms e taxa de perda de pacotes abaixo de 0,5%.

### 7.3.2 Cálculo da Vazão

Com relação à vazão, no caso foram especificadas duas chamadas simultâneas que utilizam o Codec G.711 sem supressão de silêncio, gerando um fluxo constante CBR que deverá ser suportado ao concorrer com o tráfego de fundo existente na rede. Desta maneira seguindo a fórmula exposta na seção 6.3.2 o cálculo ficaria assim:

$$\text{VazãoVoIP} = 2 * 80\text{kbps}$$

$$\text{VazãoVoIP} = 160\text{kbps}$$

Caso este limite não seja respeitado haverá uma degradação da qualidade perceptível ao usuário e uma possível não homologação da rede.

### 7.4 Tráfego de Teste: Simulação do tráfego de VoIP

Com base nos parâmetros adotados para homologação, será necessário gerar uma simulação de tráfego baseada nos valores especificados. Conforme visto anteriormente será gerado um tráfego com características CBR e com valor de 160 kbps.

Neste contexto é preciso calcular também o número de pacotes por segundo (PPS) para o tráfego de testes conforme abaixo:

$$\text{PPS} = 64000 / (160 * 8) * \text{Número de chamadas}$$

$$\text{PPS} = 100$$

Como parte da característica do Codec G.711 serão gerados 50 pacotes por segundo, ou seja, um a cada 20ms, por fluxo de chamada, sendo cada um destes do tamanho de 200 Bytes.

Portanto o tráfego de testes gerado neste cenário é especificado conforme abaixo:

**Vazão do agregado:** 160kbps

**Tamanho do Pacote:** 200 Bytes

**Pacotes por segundo:** 100

Desta forma será gerado um tráfego intrusivo tipo UDP, simulando o uso do codec G.711 na rede. O tráfego de testes gerado será enviado da origem a rede local até o servidor oferecendo o cenário para a coleta dos testes e posterior avaliação da rede local

## **7.5 Estabelecimento de rodadas de Testes**

Definidos os parâmetros e tráfego de testes a ser gerado, partiu-se então pra o estabelecimento das rodadas de medições. Baseado no contexto de horário de funcionamento do serviço, que prevê um intervalo de 8 horas foi estipulado o período de testes. A partir deste ponto foram definidas as rodadas de medição a serem realizadas dentro deste período.

### **7.5.1 Período dos Testes**

Conforme especificado anteriormente, inicialmente os testes serão realizados durante um dia de operação da rede durante o horário de funcionamento do serviço informado.

## 7.5.2 Quantidade de Rodadas de Testes

A princípio foram definidas 8 rodadas de testes, cada uma contendo 3 testes, caracterizando desta maneira uma periodicidade de 20 minutos e um total de 24 testes diários. Cada teste possui a duração estimada de dois minutos como já estipulado anteriormente e estruturado abaixo para este ambiente de teste.

- **Periodicidade:** 20 min
- **Duração de cada teste:** 2 min
- **Fluxo de destino:** Filial -> Matriz
- **Codec:** G.711
- **Vazão do agregado:** 160 Kpbs
- **Tamanho do pacote:** 200 Bytes
- **Pacotes por segundo:** = 100.

Foi realizado um planejamento de horários que segue as informações destacadas na tabela 9, visando analisar o comportamento diário da rede. Cada teste retornará as métricas selecionadas de atraso, variação do atraso e perda de pacotes que serão utilizados para cálculo do valor de R, que posteriormente será convertido em um valor da escala MOS.

Rodada/Teste	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Rodada 1	08:00	08:20	08:40
Rodada 2	09:00	09:20	09:40
Rodada 3	10:00	10:20	10:40
Rodada 4	11:00	11:20	11:40
Rodada 5	14:00	14:20	14:40
Rodada 6	15:00	15:20	15:40
Rodada 7	16:00	16:20	16:40
Rodada 8	17:00	17:20	17:40

Tabela 9: Planejamento das rodadas de medições.

Este planejamento inicial poderá sofrer alterações casos os resultados obtidos não sejam satisfatórios. Além disto, se a rede se mostrar muito instável

o procedimento pode ser realizado diariamente até que resultados conclusivos sejam representados.

## **7.6 Realização dos testes.**

Para a realização dos testes durante os 2 minutos propostos com a geração do tráfego de testes foi utilizada a ferramenta OWAMP. A ferramenta foi instalada conforme sua característica, em sistemas Linux, no modo cliente/servidor. O cliente é a rede local a ser avaliada com acesso ADSL e o servidor simulando a matriz da organização foi hospedado no servidor biblio.inf.ufsc.br da UFSC, sendo este o destino dos fluxos de chamadas.

A comunicação para execução dos testes precisa ser estabelecida. O OWAMP é instalado nas duas extremidades para que o protocolo possa se comunicar e fornecer os dados. No lado do servidor o OWAMP é iniciado no modo servidor e fica aguardando as requisições do cliente, onde o teste é propriamente executado e os resultados são apresentados.

Para que as medições realizadas fossem coerentes foi configurado um servidor NTP nos pontos de medição para sincronização dos horários. Além disso, foi necessário especificar e liberar no firewall as portas utilizadas pelo OWAMP. O servidor é iniciado e uma conexão é estabelecida entre as partes.

A partir de então uma rotina de envio de pacotes foi criada no OWAMP para o envio de dois fluxos de dados durante os dois minutos propostos na metodologia. Produzindo desta forma o tráfego CBR para a simulação do tráfego de voz do codec G.711 sem supressão de silêncio, de forma intrusiva juntamente com o tráfego existente na rede.

Baseado do cronograma de rodadas de testes estabelecido foram executadas as medições através da ferramenta OWAMP sob a forma de rodada de testes. O OWAMP retorna os resultados de atraso referente a cada pacote transmitido, além de, jitter e a taxa de perda de pacotes. O OWAMP fornece essas métricas em ambos os sentidos, facilitando a detecção de limitações em algum sentido da rede. Para que um valor absoluto seja encontrado é preciso somar os valores obtidos em cada um dos sentidos.

Os dados coletados precisam ser tratados para que possam ser analisados estatisticamente e fornecer meios para comparação. Segue abaixo um exemplo de um resumo gerado pela execução do owping ao finalizar um teste:

```
--- owping statistics from [189,114,195,3,dynamic,adsl,gvt,net,br]:57090 to  
[biblio,inf,ufsc,br]:6002 ---
```

```
SID: 96a23c9ad4525b4e3f065f95812ccfe5  
first: 2012-11-15T08:00:59,123  
last: 2012-11-15T08:02:58,287  
12000 sent, 0 lost (0,000%), 0 duplicates  
one-way delay min/median/max =6,58/8,2/46,8 , (err=1,04 )  
one-way jitter = 4,3 (P95-P50)  
Hops = 6 (consistently)
```

```
--- owping statistics from [biblio,inf,ufsc,br]:6003 to  
[189,114,195,3,dynamic,adsl,gvt,net,br]:52318 ---
```

```
SID: bd72c303d4525b4e5f56ca9e00aefabd  
first: 2012-11-15T08:00:59,154  
last: 2012-11-15T08:02:59,260  
12000 sent, 0 lost (0,000%), 0 duplicates  
one-way delay min/median/max = 1,55/2,1/41,2 , (err=1,04 )  
one-way jitter = 0,5 (P95-P50)  
Hops = 5 (consistently)
```

## 7.7 Análise dos resultados coletados

Referente aos dados coletados, depois de tratados, é necessário realizar uma validação em cada rodada para uma possível calibração da própria rodada de testes. Os valores não podem apresentar uma variabilidade considerável dentro de uma mesma rodada. As medidas levaram em consideração um índice de confiança de 95% para os valores médios para os requisitos de rede impactantes no cálculo do MOS e definição da qualidade na rede.

Com relação ao atraso médio coletado, é possível observar a tabela 10, que contém cada teste realizado. É possível analisar que não houve grandes discrepâncias aos valores coletados em cada rodada. Apesar dos valores

coletados serem apresentados em ms, o intervalo de confiança medido forneceu um alto grau de precisão para os valores médios, oferecendo uma variabilidade aceitável neste contexto.

Além disto, os dados coletados estão muito abaixo dos especificados como requisitos na etapa 3 da metodologia que era o limite de 150ms, desta maneira não sendo necessário aplicar uma alteração na quantidade de testes a serem realizados.

Rodada	1			2			3			4		
Teste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Atraso médio	9,08	8,6	10,7	9,76	10,78	13,78	10,33	11,94	15,01	15,27	18,42	16,35
Desvio Padrão	5,38	3,89	4,36	5,21	10,59	16,7	5,75	5,51	16,52	7,85	17,5	5,71
IC	0,22	0,16	0,17	0,21	0,42	0,67	0,23	0,22	0,66	0,31	0,7	0,23
Valor Min.	8,87	8,45	10,52	9,55	10,35	13,11	10,1	11,72	14,35	14,96	17,72	16,12
Valor Max	9,3	8,76	10,87	9,97	11,2	14,45	10,56	12,16	15,67	15,59	19,12	16,58
Rodada	5			6			7			8		
Teste	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Atraso médio	12,96	11,38	11,26	11,3	11,58	12,14	10,94	12,88	14,22	14,01	14,45	11,42
Desvio Padrão	8,14	5,59	5,9	5,76	5,76	5,83	5,8	5,86	5,82	5,67	5,41	5,5
IC	0,33	0,22	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22
Valor Min.	12,63	11,15	11,03	11,07	11,35	11,91	10,71	12,65	13,9	13,78	14,24	11,2
Valor Max	13,28	11,6	11,5	11,53	11,81	12,37	11,17	13,12	14,45	14,23	14,67	11,64

**Tabela 10: Valores de atraso por teste.**

Sobre a variação do atraso (Jitter) também foi observado uma estabilidade aceitável em todos os testes, relacionado também pelo pequeno atraso verificado nas medições, o que implica em um outro fator aceitável com relação às rodadas de testes da metodologia e qualidade esperada da rede.

Referente a perda de pacotes, os valores podem ser observados na tabela 11, onde são apresentados os valores coletados em cada teste realizado. Todos os valores sempre se mantiveram bem abaixo do 0,5% que era requerido. Houve novamente pouca variação entre os testes de uma mesma rodada, não sendo necessária nenhuma ação específica.

Rodada	1			2			3			4		
Teste	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Perda de Pacotes	0%	0%	0,12%	0%	0,08%	0,12%	0,12%	0,04%	0,08%	0,12%	0,21%	0,16%
Rodada	5			6			7			8		
Teste	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Perda de Pacotes	0,08%	0,04%	0%	0%	0,04%	0,12%	0,08%	0,12%	0,08%	0,08%	0,16%	0,12%

**Tabela 11: Perda de pacotes por teste.**

Com a validação das medições realizadas em cada rodada é possível definir um valor médio de R e consequentemente de MOS baseada nas médias obtidas em casa rodada. Desta maneira é possível aferir a qualidade da rede. Além disto é possível calcular o MOS para cada teste realizado para um estudo mais completo. Para este cálculo é necessário utilizar a fórmula do cálculo do fator R para os componentes  $I_e$  e  $I_d$  que são os componentes relacionados com os requisitos de rede avaliados e suas fórmulas específicas se encontram na seção 6.3.1. Abaixo é a apresentada a versão não expandida da fórmula.

$$R = 94,77 - I_e - I_d$$

Após isto o valor precisa ser convertido do fator R para a escala MOS conforme a fórmula de conversão da seção 6.2.2

Para tornar mais amigável este processo se fez uso da R Value Calculation, conforme figura 11. Trata-se de uma calculadora desenvolvida por um grupo de estudos da ITU-T que implementa o cálculo do E-Model com base na recomendação (G.107, 2008). Esta ferramenta auxilia nos cálculos de R e MOS baseado nos parâmetros da rede observados, além de outros valores especificados na descrição do E-Model.

E-Model (Version March 2005)				
Parameter	ID	Default	Value	Dimension
Electric Circuit Noise	Nc	(-70)	<input type="text" value="-70"/>	dBmOp
Noise Floor	Nfor	(-64)	<input type="text" value="-64"/>	dBmp
Room Noise (Send)	Ps	(35)	<input type="text" value="35"/>	dB(A)
Room Noise (Receive)	Pr	(35)	<input type="text" value="35"/>	dB(A)
Send Loudness Rating	SLR	(8)	<input type="text" value="8"/>	dB
Receive Loudness Rating	RLR	(2)	<input type="text" value="2"/>	dB
Sidetone Masking Rating	STMR	(15)	<input type="text" value="15"/>	dB
D-factor (Receive)	Dr	(3)	<input type="text" value="3"/>	
Listener's Sidetone Rating	LSTR	STMR+Dr	<input type="text" value="18"/>	dB
D-factor (Send)	Ds	(3)	<input type="text" value="3"/>	
Mean One-Way Delay	T	(0)	<input type="text" value="0"/>	ms
Absolute Delay from (S) to (R)	Ta	(=T)	<input type="text" value="0"/>	ms
Round-Trip Delay	Tr	(=2T)	<input type="text" value="0"/>	ms
Talker Echo Loudness Rating	TELR	(65)	<input type="text" value="65"/>	dB
Weighted Echo Path Loss	WEPL	(110)	<input type="text" value="110"/>	dB
Quantizing Distortion Units	qdu	(1)	<input type="text" value="1"/>	
Equipment Impairment Factor	Ie	(0)	<input type="text" value="0"/>	
Packet-loss Robustness Factor	Bpl	(1)	<input type="text" value="1"/>	
Packet-loss Probability	Ppl	(0)	<input type="text" value="0"/>	%
Burst Ratio	BurstR	(1)	<input type="text" value="1"/>	
Advantage Factor	A	(0)	<input type="text" value="0"/>	
Results				
Calculated R-Factor	R	<b>93.2</b>	<input type="button" value="calculate"/>	
Mean Opinion Score	MOS <sub>Q</sub>	<b>4.41</b>	<input type="button" value="reset"/>	
	Options		<input type="button" value="T separate"/>	
This E-Model web front-end was brought to you by <a href="http://x-fabric.com">x-fabric.com</a>				
Last update: 2008-06-02				

Figura 11: R Value Calculation (ITU-T E-Model, 2012).

Desta forma os valores médios de MOS foram obtidos em cada teste e cada rodada horária de testes para que os requisitos da próxima etapa da metodologia sejam alcançados, onde os valores serão apresentados e comparados.

## 7.8 Análise dos resultados para Homologação

Com os resultados das rodadas de testes validados será necessário avaliar o contexto completo da homologação. Os valores obtidos através das

medições e calculados através dos parâmetros de rede em cada rodada podem ser resumidos e observados na tabela 12.

Rodada	1	2	3	4	5	6	7	8
Atraso Médio	9,45	11,44	12,43	16,68	11,87	11,68	12,68	13,3
Jitter	9,86	15,1	15,13	13,26	14,9	12,96	13,1	15,23
Perda de Pacotes	0,04%	0,07%	0,08%	0,17%	0,04%	0,05%	0,10%	0,13%
Fator R	92,5	92,13	92	91,06	92,36	92,26	91,83	91,53
MOS	4,39	4,39	4,38	4,36	4,39	4,39	4,38	4,37

Tabela 12: Resumo das rodadas de medições.

Referente ao Atraso médio e Jitter estimados nas medições pelo OWAMP em cada rodada é possível observar a figura 12, contendo os valores obtidos distribuídos entre as rodadas de teste. Da mesma forma é possível verificar o comportamento do fator perda de pacotes, distribuído nas rodadas de testes, conforme a figura 13.

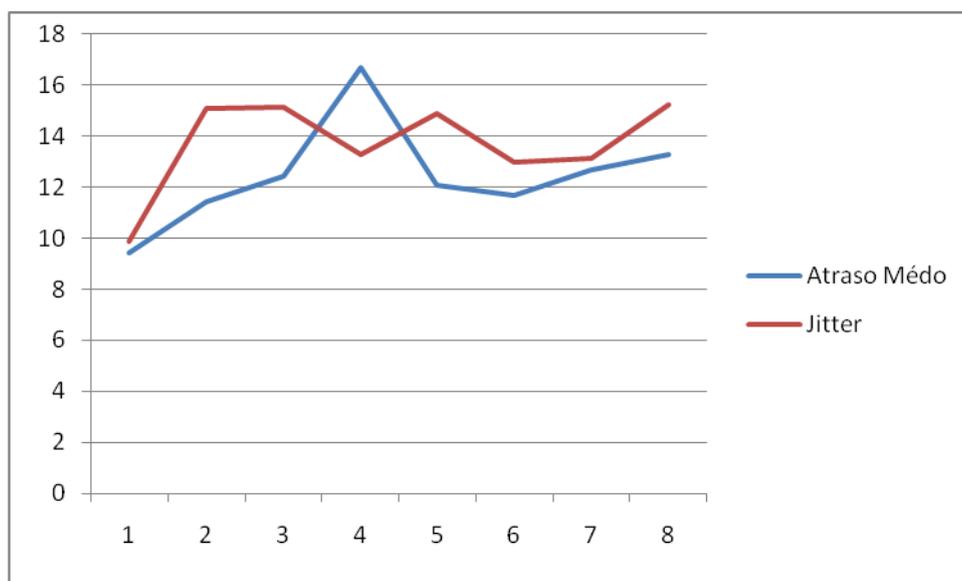
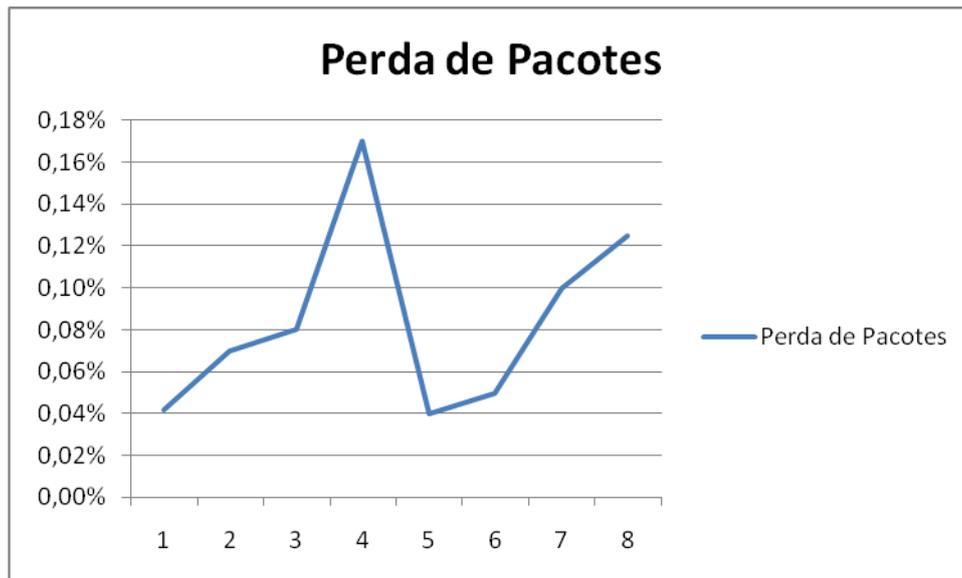


Figura 12: Valor Atraso e Jitter por rodada de teste.



**Figura 13: Valor da Perda de Pacotes por rodada de teste.**

Neste ponto é possível observar que em ambos os requisitos de rede apresentam alguns comportamentos semelhantes. São encontrados valores mais baixos no início da manhã e um pico atingindo na rodada 4, que consiste no horário entre 11:00hs a 12:00hs. Caracterizando desta forma um provável maior uso da rede neste ponto, gerando um maior tráfego de fundo e conseqüentemente uma pequena interferência para o uso de VoIP detectada nas medições.

O valor R e o MOS calculado em cada rodada são apresentados nas figuras 14 e 15 respectivamente. É possível observar o comportamento destes valores calculados através das medições realizadas. Ambos os valores mantêm um comportamento equivalente a que o MOS foi calculado através do Fator R. Como pode ser analisado não há muita variabilidade destes valores que continuam sempre com valores relativos à alta qualidade de voz estimada.

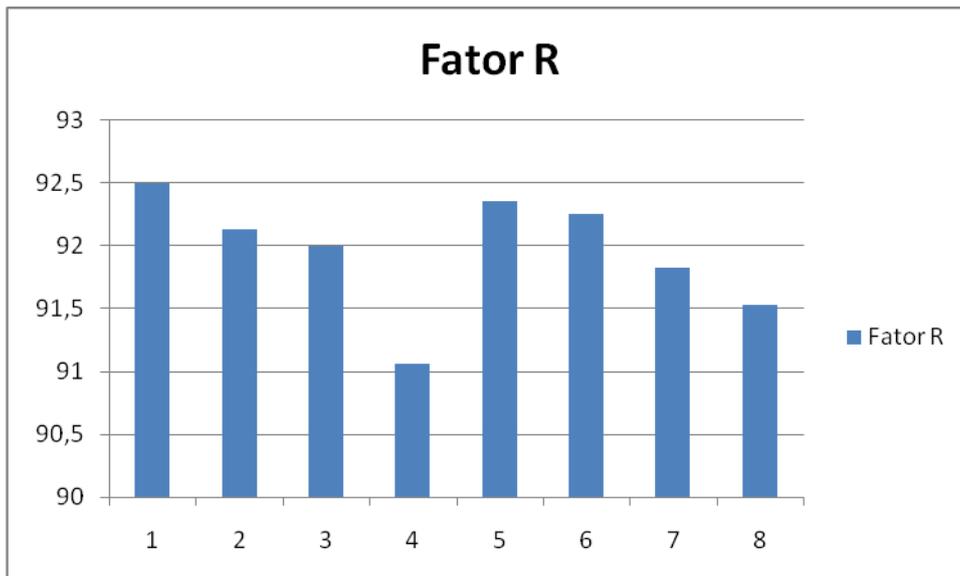


Figura 14: Valor Fator R por rodada de teste.

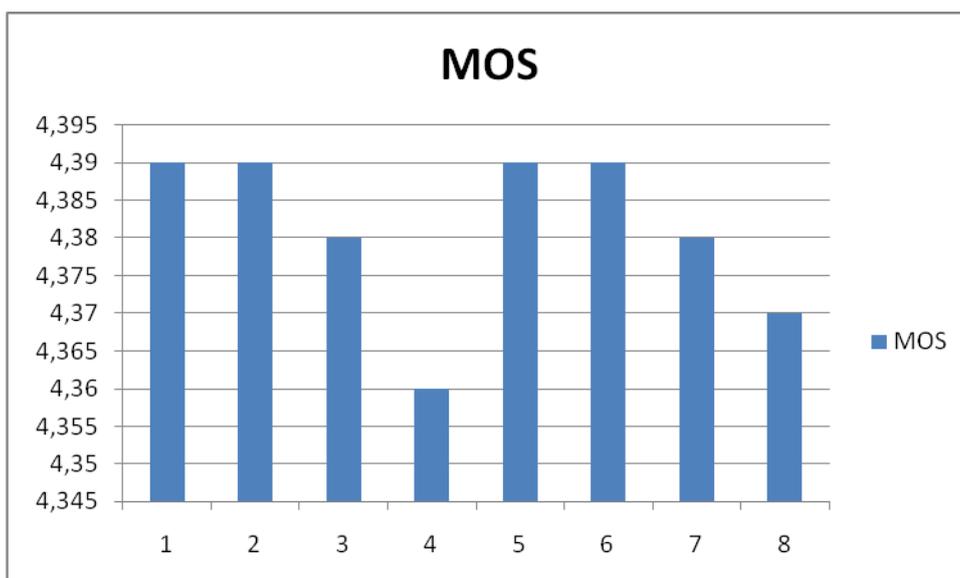
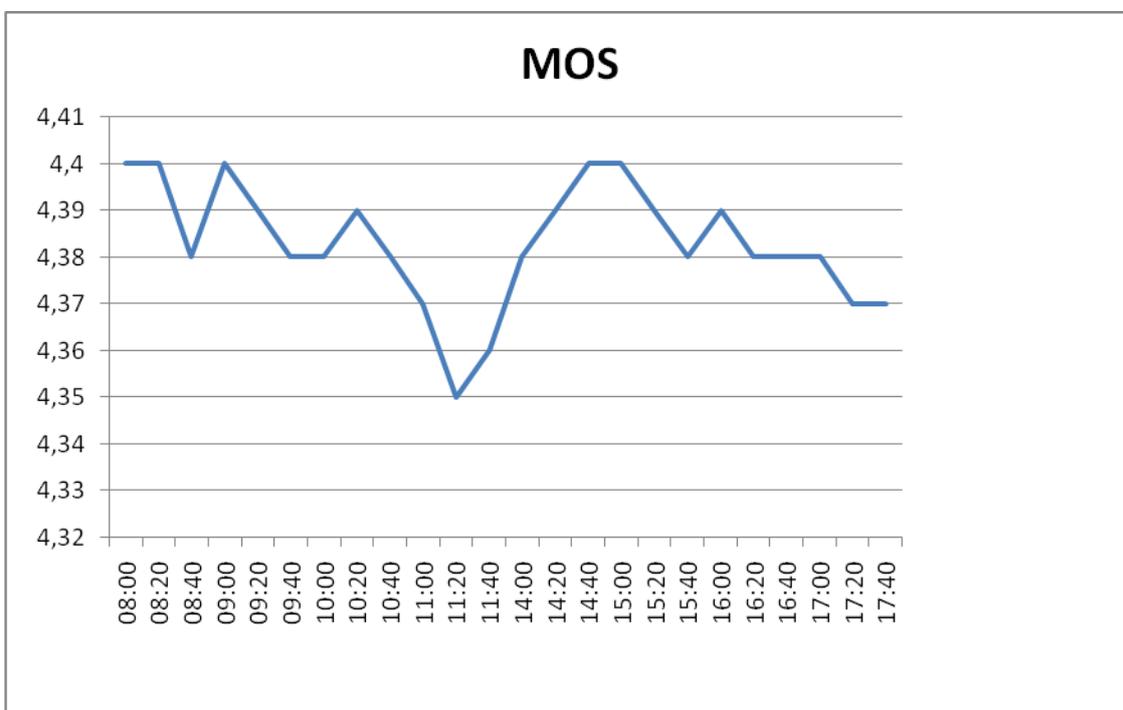


Figura 15: Valor MOS por rodada de teste.

Ainda referente ao valor MOS é possível verificar o seu comportamento temporal em cada teste realizado dentro das rodadas de testes. A figura 16 apresenta estes valores demonstrando o comportamento deste fator de qualidade durante os horários coletados. O Valor de MOS varia entre 4,35 e 4,4 havendo uma variação pequena nestes valores, que para o usuário seria praticamente imperceptível. O valor praticamente manteve-se estável durante todo o período de testes, com os seus valores mais baixos detectados no

período entre 11:00hs e 12:00hs, da mesma forma como observado anteriormente para a perda de pacotes.



**Figura 16: Valor MOS por horário.**

A tabela 13 apresenta o tratamento estatístico realizado referente ao MOS em cada rodada de testes. É possível verificar que o Intervalo de confiança gerado através das 8 rodadas de testes expressa com confiabilidade os limites para os valores médios do MOS. Contudo o valor médio de MOS deste estudo atingiu o valor de 4,38, sendo um valor elevado que representa uma alta qualidade de voz

Média	Desv. Pad.	IC	Valor Min.	Valor Max.
4,381	0,011259916	0,0078	4,373	4,389

**Tabela 13: Tratamento estatístico para MOS.**

Portanto os valores alcançados nas rodadas de testes sempre estiveram bem acima do valor quatro estipulado como o mínimo aceitável para a qualidade. Desta forma é possível concluir que a rede se encontra homologada a oferecer a tecnologia VoIP com uma boa qualidade superando o valor quatro

proposto na escala MOS na definição dos requisitos VoIP. É recomendado que esta metodologia seja executada sob a forma de uma rotina para garantir que a qualidade ofertada não venha sofrer degradações com o passar do tempo após a tecnologia estiver em pleno uso.

## 8 Conclusões e Trabalhos Futuros

O crescente cenário de comunicação entre redes entre matriz e filiais de uma organização aliados a necessidade de redução de custos são fatores motivadores ao uso de VoIP. Como visto durante este trabalho a questão da qualidade é um fator muito impactante para a disseminação da tecnologia VoIP, por motivos esperados devido a comparação inevitável ao sistema telefônico tradicional. . Portanto, apesar das vantagens da utilização de VoIP, isto de nada vale caso o serviço não possa ser fornecido com uma qualidade aceitável ao usuário.

Desta forma é necessário que haja um devido estudo e planejamento para que se possa usufruir das facilidades desta tecnologia. A etapa de homologação proposta visa auxiliar neste processo de implantação de VoIP e avaliação da qualidade disponível esperada para o serviço. O objetivo principal deste trabalho foi elaborar uma metodologia que busca fornecer uma alternativa para a homologação de rede de dados cabeadas para o uso de VoIP. Baseado-se em parâmetros de entrada de qualidade e requisitos de redes, visa apresentar a qualidade de voz esperada para a rede através da realização de medições planejadas.

Para validade da metodologia de homologação proposta, foi realizado um estudo de caso entre uma rede local cabeada e um servidor representando o destino do fluxo de dados. Desta forma foi possível observar o comportamento da rede para a aferição da metodologia em um cenário real. Os parâmetros de qualidade de entrada foram especificados e os requisitos de rede mapeados. Com isto foi gerado o tráfego de testes e o planejamento de medições foi realizado levando em consideração fatores estatísticos pré-estabelecidos.

Desta forma a Metodologia proposta conseguiu fornecer informações relevantes ao contexto de homologação através do estudo e medições realizadas. Os valores foram tratados e apresentados demonstrando a funcionalidade desta metodologia para o objetivo proposto. É possível que hajam melhorias a serem propostas para a metodologia, pois os ambientes de rede tendem a fornecer padrões variáveis, por isto é interessante que a

metodologia seja avaliada em outros cenários, visando um melhor ajuste do modelo para oferecer maior confiabilidade.

Pudemos observar também, que apesar do objetivo principal deste estudo não tenha sido analisar o comportamento de um acesso ADSL para a tecnologia VoIP, foi possível realizar algumas análises iniciais sobre o comportamento deste tipo de acesso. Apesar de não ter sido analisado mais a fundo esta questão foi possível verificar que a forma de acesso se manteve estável no cenário disponibilizado, oferecendo a possibilidade de ser adotada para o uso de VoIP. Porém estudos mais completos deveriam ser realizados neste ponto.

Como trabalhos futuros, pode-se incluir um estudo mais específico sobre a tecnologia VoIP baseada em acesso ADSL que possui características próprias e se tornou muito popular devido a disponibilização pelas operadoras telefônicas. Outra proposta devido ao crescimento de tecnologias sem fio e popularização de tablets e smartphones, seria uma avaliação referente a redes sem fio, abordando questões como roteamento Wireless, acesso Internet 3G, entre outros. Um outro fator que também pode ser explorado seria o desenvolvimento de uma aplicação de medição e apresentação dos resultados, já que não existem hoje ferramentas específicas para este contexto, tornando mais difícil a implementação desta metodologia.

## 9 Referencias Bibliográficas

BEZERRA, Sérgio A. Coelho, **Uma Metodologia para avaliação de Desempenho de Aplicações Multimídia em Rede Local Sem Fio** – Tese de dissertação de mestrado Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

BRANDELERO, F. **Um Esquema de Alocação de Largura de Banda Dinâmica para Transmissão VoIP via Satélite**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010

BUNN, A. **Avaliação do Serviço de QoS no FreeBSD**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

CARDEAL, S. O. **Métodos de Avaliação de QoS em Serviços de Voz sobre Redes IP**. Dissertação de Mestrado Universidade De Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal, Leiria, 2010.

COLCHER, Sérgio; GOMES, Antonio Tadeu A.; SILVA, Anderson Oliveira; SOUZA FILHO, Guido L.; SOARES, Luiz Fernando G.. **VoIP – Voz sobre IP 2.** ed, Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

COSTA, João Carlos Peixoto de Almeida da. **Implementação e Gerência de uma Arquitetura de Voz sobre IP**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Informática) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Núcleo de Computação Eletrônica, 2003.

ETSI. **Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON); General aspects of Quality of Service (QoS)**. França, 1998

GIMENES, E. J., GARCIA, A. S. **Uma Metodologia Pragmática para Avaliação de Desempenho e Planejamento de Capacidade em Redes de**

**Computadores.** World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education. São Paulo, 2006

GONZALEZ, Felipe Nogaroto **Estudo e Implantação de Solução de Voz Obre IP Baseadas em Softwares Livres.** Joinville: SOCIESC, 2007.

GRANDO, M. V. S. **Avaliação de desempenho do protocolo OWAMP e medidas comparativas com protocolos two-way.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2010.

GROSS, Fábio Danieleski. **Implementando uma Solução VoIP Baseada em Asterisk com Alta-disponibilidade e Balanceamento de Carga.** Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

HERSENT, O., GUIDE, D., PETIT, J., **Telefonia IP – Comunicação Multimídia Baseada em Pacotes.** Addison Wesley. São Paulo 2002.

HERSENT, O. **IP Telephony, Deploying VoIP Protocols and IMS Infrastructure.** Wiley. Reino Unido 2011.

HERSENT, O. PETIT, J. P. GUREL, D. **IP Telephony: Deploying Voice-over-IP Protocols.** Wely 2005

ITU-T, Recommendation G.711. **Pulse Code Modulation for Voice Frequences.** ITU-T. Suíça, 1988

ITU-T, Recommendation G.729. **Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CSACELP).** ITU-T. Suíça, 1996

ITU-T, Recommendation G.723. **Dual rate speech coder for multimedia communications transmitting at 5.3 and 6.4 kbit/s.** ITU-T. Suíça, 1996

ITU-T, Recommendation P.800. **Methods for subjective determination of transmission quality.** ITU-T. Suíça, 1996

ITU-T, Recommendation G.107. **The E-model, a computational model for use in transmission planning.** ITU-T. Suíça, 2008

ITU-T, Recommendation G.113. **Transmission impairments due to speech processing.** ITU-T. Suíça, 2007

ITU-T E-Model. **R Value Calculation.** Acesso em Outubro de 2012. Disponível em <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/index.htm>

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

JÚNIOR, J.C. **Uma Abordagem Semântica para Especificação de QOS de Serviços de Comunicação Usando Parâmetros de QOE.** Dissertação de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2010.

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a Internet:** uma abordagem top-down. 3. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2010.

OWAMP. **One-Way Ping (OWAMP).** Acesso em Julho de 2012. Disponível em [www.internet2.edu/performance/owamp/](http://www.internet2.edu/performance/owamp/)

PERWEJ, Y., PARWEJ, F. **Perceptual Evaluation of Playout Buffer Algorithm for Enhancing Perceived Quality of Voice Transmission Over IP Network.** University Jazan Kingdom of Saudi Arabia. Jazan, 2012.

PETERSON, Larry L.; DAVIE, Bruce S. **Redes de Computadores – Uma Abordagem Completa.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

PRUDÊNCIO, Achilhes Colombo, **Uma abordagem semântica para a especificação de Qualidade de Serviço em Redes de Computadores** - Tese de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2010

SILVA, M. A., **Um SLA para VoIP e seu mapeamento em uma rede DiffServ/MPLS** – Tese de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2005.

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

SOUZA, Fabiano Nunes Machado de Abreu e; BUENO, Mateus Cunha Pereira, **Monitoração de Desempenho de Voz sobre IP**. Acesso em 19/06/12. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmondesvoip/>

SMITH, Jared; MEGGELN, Jim Van; MADSEN, Leif. **Asterisk: O Futuro da Telefonia**. Rio de Janeiro: Altos Books, 2005.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campos, 2003.

TELECO. **VoIP / Telefonia IP – Tecnologias**. Acesso em 29/05/12. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tecvoip.asp>

VARPHONEX. **Requisitos de Banda de Internet e CODECs**. Acesso em 18/06/12. Disponível em <http://www.varphonex.com.br/knowledgebase/codecs-voz-voip.php>

XAVIER, S. **Voz sobre IP na PBH**. Belo Horizonte: UFRGS, 2000.

## Apêndice

### ANEXO 1 – Projetos para redes VoIP: Homologação da tecnologia VoIP em redes de dados

#### Projetos para redes VoIP

##### Homologação da tecnologia VoIP em redes de dados

Raphael Silva Borges

Departamento de Informática e - Universidade Federal de Santa Catarina (USFC)

Florianópolis, SC – Brasil

raphaelsilvaborges@gmail.com

***Abstract.** With the increasing use of computer networks and the Internet, it is usual to use this physical medium also for the voice traffic. Within this scenario, the VoIP technology presents itself as an important alternative, combining reduction of telephone costs, along with an offer of a quality service compared to switched telephone systems. So you need a proper planning for deployment of this technology. This article aims to contribute to a methodology for approval of VoIP technology in data networks, local wired, offering subsidies for deployment in real environments.*

***Resumo.** Com a utilização cada vez maior de redes de computadores e Internet, torna-se usual a utilização deste meio físico também para o tráfego de voz. Inserido neste cenário, a tecnologia VoIP se apresenta como uma importante alternativa, aliando redução de custos com telefonia, juntamente com uma oferta de um serviço com qualidade comparada aos sistemas telefônicos comutados. Portanto é necessário um correto planejamento para implantação desta tecnologia. Este artigo visa contribuir com uma metodologia para homologação da tecnologia VoIP em redes de dados, locais cabeadas, oferecendo subsídios para a implantação em ambientes reais.*

#### 1. Introdução

O crescimento das redes de computadores e a necessidade de redução de custos das organizações convergem para uma direção: a utilização das redes de dados para o tráfego de voz. Neste contexto surge a tecnologia de voz sobre IP (VoIP). Esta tecnologia consiste em utilizar as estruturas de redes de dados para o tráfego de voz, a fim de permitir que a voz trafegue em um meio físico já existente. O VoIP tem como princípio oferecer qualidade e funcionalidades no mínimo equivalentes aos serviços telefônicos convencionais, otimizando recursos.

Desta forma cada vez mais a utilização de tecnologias VoIP vem se tornando habituais. Porém, com esta nova realidade surgem novas preocupações. A implementação da tecnologia

VoIP não é algo trivial e alguns pontos precisam ser previamente analisados. Não basta inserir a tecnologia e não avaliar se a rede suporta este tráfego, ou se a qualidade da voz ofertada será da qualidade esperada.

A elaboração de um plano de implantação precedido por um processo de homologação do meio físico disponível se faz necessário, para que o mesmo possa hospedar a tecnologia VoIP com a melhor qualidade possível. Este trabalho visa contribuir, oferecendo subsídios para a homologação da tecnologia VoIP em redes locais de dados existentes.

## **2. Telefonia IP**

O crescimento das redes de computadores e a necessidade de redução de custos criam o cenário para um novo conceito de telefonia que busca agregar valor as redes de dados utilizando este meio também para a transmissão de voz. Possibilitada pelos avanços nas tecnologias de redes, hardware, protocolos além de codificadores e compressores de áudio entre outros.

Surgiu a necessidade e possibilidade de convergir, ou seja, utilizar o mesmo meio para duas finalidades, o tráfego de dados e voz poderia ser otimizado e com isto muitos benefícios poderiam ser alcançados em escala. Não que houvesse algo de errado com a rede telefônica comutada existente, que pelo contrário oferece robustez e qualidade, transmitindo confiabilidade aos usuários. Porém, era necessário adaptar-se a nova realidade, e o uso das redes de dados se mostrou uma alternativa, criando esta nova grande rede convergente.

### **2.1 VoIP**

A Tecnologia VoIP consiste na integração de serviços de telecomunicações com redes de computadores TCP/IP. A sigla VoIP provém de *Voice over Internet Protocol* (Voz sobre o protocolo de Internet). Utilizando-se destes recursos é possível digitalizar a voz, transformando em pacotes de dados que podem ser transmitidos via rede baseados no protocolo TCP/IP. Através desta tecnologia é possível permitir que o áudio e sinalização das chamadas seja transmitido integralmente através de redes de computadores.

Segundo COLCHER (2005), com a evolução da Internet, novas possibilidades de serviços puderam ser oferecidos sobre a rede IP inclusive a transmissão de dados multimídia em tempo real. Desta maneira VoIP ganhou destaque como uma alternativa viável, utilizando a mesma infra-estrutura das redes de dados das empresas para trafegar dados, voz e vídeo.

Muitas vantagens podem ser somadas com a utilização da tecnologia VoIP. A principal vantagem é referente a questão econômica. É possível compartilhar os atuais recursos de rede para o tráfego de voz, realizando convergência e conseqüentemente barateando a implantação desta tecnologia em comparação com um sistema tradicional de telefonia. Ainda é possível utilizar a rede de dados existente para interligar via voz matriz e filiais de uma organização, permitindo a realização de chamadas a custo zero, contribuindo para uma redução abrupta nos custos com ligações.

Porém para que se possa usufruir de todos os benefícios que esta tecnologia permite, é necessário planejar a sua implantação. Neste ponto a qualidade de voz e robustez da rede são os

principais fatores a serem analisados, sendo impossível evitar a comparação com o sistema telefônico tradicional.

## 2.2 Protocolos VoIP

Como VoIP é baseada na arquitetura TCP/IP, são utilizados os protocolos IP e UDP, para a entrega e transporte das informações ao destino. Além disto em uma estrutura VoIP há a necessidade de utilização de protocolos que são responsáveis pelo estabelecimento, manutenção e finalização de forma bidirecional das sessões. Estes destacam-se basicamente dois tipos de Sinalização e Mídia, conforme a figura 1 que demonstra interação e os protocolos envolvidos.

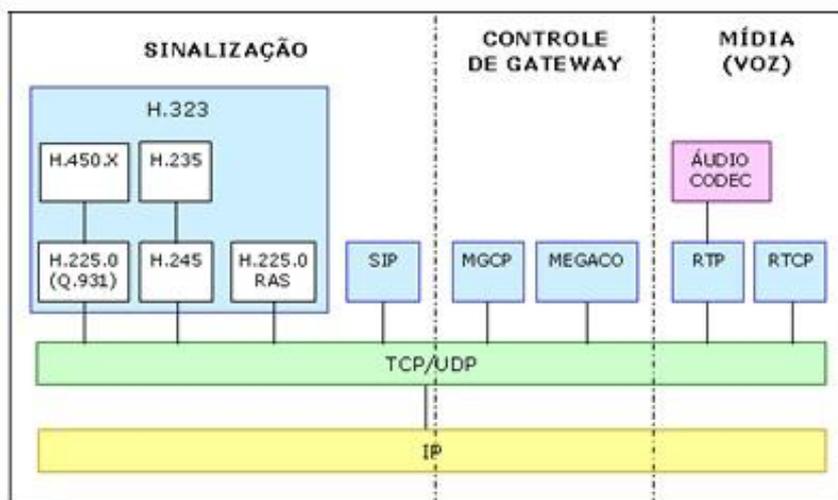


Figura 1: Protocolos VoIP (TELECO 2012)

### 2.2.1 Protocolos de Sinalização

Os protocolos de sinalização especificam um padrão para o controle da chamada realizada via rede. Realizam funções de sinalização como, definição da codificação de voz, autenticação, estabelecimento e finalização das chamadas entre outros. Atualmente os principais protocolos de sinalização VoIP são o H.323, SIP e IAX, sendo o protocolo SIP mais difundido mundialmente.

### 2.2.2 Protocolos de mídia

Como o transporte do áudio é fundamental nas aplicações em tempo real, não sendo tolerável a perdas, é necessário que exista um protocolo de mídia que opere em conjunto com o protocolo UDP visando oferecer esta garantia. Protocolos de mídia são utilizados para o transporte dos dados entre os pontos, transferindo o áudio codificado entre as partes envolvidas em uma chamada VoIP. Dentre estes protocolos, destacam-se o conjunto RTP (*Real-time Transport Protocol*) e RTCP (*Real-Time Control Protocol*).

## 2.3 CODEC

Inicialmente o termo CODEC faz referência ao termo *COder/DECcoder* (Codificador/Decodificador) que possui esta função de converter os sinais analógicos em digitais e vice e versa, realizando a convergência para a transmissão por meio digital em uma rede de comutação de pacotes. Em um cenário mais atual o termo CODEC aplica-se também a *COmpression/DECopression* (Compressor/Decompressor) do sinal,

compactando o tamanho de dados a serem transmitidos. É gerado uma redução na largura de banda necessária para a transmissão dos pacotes, otimizando a rede.

Outro ponto que precisa ser analisado são os tipos de CODECs para áudio existentes. Cada tipo de CODEC possui características próprias. Cada um destes provê uma certa qualidade de voz ao usuário, através de suas especificações que variam desde seus algoritmos de codificação, consumo de banda, processamento dentre outros. A tabela 1 apresenta os CODECs mais conhecidos agrupados e padronizados conforme as recomendações do ITU-T e contem algumas de suas características básicas.

Recomendação ITU-T	Algoritmo	Bit rate (kbit/s)	Atraso típico fim-a-fim (ms)	Qualidade de Voz
G.711	PCM	48; 56; 64	<<1	Excelente
G.722	Sub-banda ADPCM	48; 56; 64	<<2	Boa
G.723.1	ACELPMP-MLQ	5,36,3	67-97	Razoável Boa
G.726	ADPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.727	AEDPCM	16; 24; 32; 40	60	Boa (40) Razoável (24)
G.728	LD-CELP	16	<<2	Boa
G.729	CS-ACELP	8	25-35	Boa
G.729 Anexo A	CS-ACELP	8	25-35	Boa

**Tabela 1: Principais tipos de CODEC (TELECO 2012)**

### 3 Qualidade de Voz e Serviço

A qualidade de voz é considerada premissa básica para a tecnologia VoIP e ao mesmo tempo um dos grandes empecilhos para a difusão desta tecnologia. Pelo fato da voz ser sensível ao tempo os pacotes de voz necessitam de atenções especiais, respeitando as suas características.

A tecnologia VoIP utiliza o protocolo UDP para transporte de pacotes que não fornece um mecanismo para assegurar a entrega dos dados em ordem seqüencial, nem mesmo garantem a qualidade de serviço. A qualidade de serviço está relacionada com os requisitos que aplicações necessitam. Trata-se de um conjunto de parâmetros que determinam o nível de qualidade do fluxo de dados

Segundo COLCHER (2005), para a utilização de aplicações multimídia com qualidade é preciso fornecer mecanismos que auxiliem a transmissão de acordo com as características de tráfego impostas pela rede. Em termos de serviços de comunicação de voz, estes mecanismos visam compensar os fatores que podem influenciar em uma degradação da qualidade, através de estratégias de correção possíveis. Portanto tais parâmetros que influenciam na qualidade da comunicação de uma rede precisam ser analisados.

#### 3.1 Parâmetros de Qualidade de Serviço

Com a necessidade da garantia de qualidade em redes de dados, diversos RFCs foram definidas a fim de padronizar os parâmetros de desempenho de rede. A RFC 2330 define um padrão para os parâmetros de desempenho, estabelecendo uma nomenclatura a ser adotada na definição de parâmetros e metodologias para a aferição de redes.

- **Atraso (*One-Way Delay*):** É o atraso total entre o envio de um pacote, ou mensagem, a partir da origem até sua recepção no destino, ou seja o atraso em um sentido. Foi definido através da RFC 2679, que aborda diversos requisitos para medir esta variação.

- **Varição de Atraso (*One-Way IP Packet Delay Variation*):** A variação do atraso ou jitter é um fator crucial para a qualidade do serviço prestado. Pode ser visto como a variação do atraso na sequência de entrega dos pacotes de um mesmo fluxo de dados. É definido através da RFC 3393 e pode ser calculado através da comparação de atrasos entre pacotes.

- **Perda de Pacotes (*One-Way Packet Loss*):** Trata-se de um dos mais sérios problemas relacionados à qualidade de serviço em VoIP. Definida na RFC 2680, refere-se se a razão entre a quantidade de pacotes perdidos na rede e a quantidade de pacotes que foram transmitidos.

- **Largura de banda (*Network Capacity*):** Largura de banda é a quantidade máxima de informação que pode ser transmitida conhecida também como vazão de tráfego definida através da RFC 5136. Este conceito se confunde muito com o conceito de taxa de transmissão que é a taxa efetiva de bits por unidade de tempo, no caso, segundos.

### 3.2 Métodos de avaliação da qualidade da voz

Existem alguns métodos e modelos que são utilizados para avaliar a qualidade de voz de uma rede. Os dois modelos mais difundidos e recomendados pelo ITU-T são:

- **MOS ( Mean Opinion Score):** Definido pela ITU P.800, trata-se de um padrão baseado em uma escala numérica para quantificar e reportar a qualidade da voz após o processo de digitalização e compressão para sua transmissão. O MOS é o modelo de avaliação de qualidade referência, sendo o mais utilizado atualmente no mercado, os valores de MOS variam entre 1 (ruim) a 5 (Excelente), conforme a tabela 2.

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

Tabela 2 – Valores de MOS

Devido ao fato de se basear em uma avaliação com base na opinião de usuários do sistema, o MOS torna-se um método custoso, pois envolve um grande esforço para avaliação da qualidade da voz. Além disto, o MOS fornece um caráter subjetivo a avaliação, que pode variar de usuário a usuário.

- **E-Model:** Definido pela ITU G.107, este modelo permite avaliar subjetivamente a qualidade de voz como se a mesma fosse avaliada pelo usuário. O E-Model é um modelo computacional que avalia as variações dos diversos fatores que combinados geram atrasos e degradação da voz, afetando a qualidade da telefonia. O E-Model fornece o resultado de uma operação matemática para determinar R, que é um valor entre 0 a 100 numa escala crescente de qualidade (SOUZA e BUENO, 2010).

Como os equipamentos da rede degradam a qualidade de voz, o valor R pode ser calculado através da equação,  $R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A$  onde:

- $I_s$ , se referente à soma de todas as degradações de sinal que ocorrem simultaneamente.

- $I_d$ , é o atraso fim-a-fim introduzido a chamada.

- $I_e$ , trata-se da degradação inserida pelo próprio equipamento utilizado.

- $A$ , se refere ao fator de vantagem, por exemplo, uma medida que os usuários aceitam uma qualidade menor devido as facilidades oferecidas.

O valor de R também pode ser relacionado com a classificação do modelo MOS para obter o nível de satisfação dos usuários conforme demonstra a figura 2.

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

Figura 2 - Relação entre E-Model e MOS (SILVA, 2005)

#### 4 Metodologia para Homologação

O princípio desta metodologia é avaliar o desempenho de uma rede de dados específica, levando em consideração os princípios de qualidade de serviço para aplicações VoIP. A figura 3 apresenta a metodologia que consiste em 8 etapas.

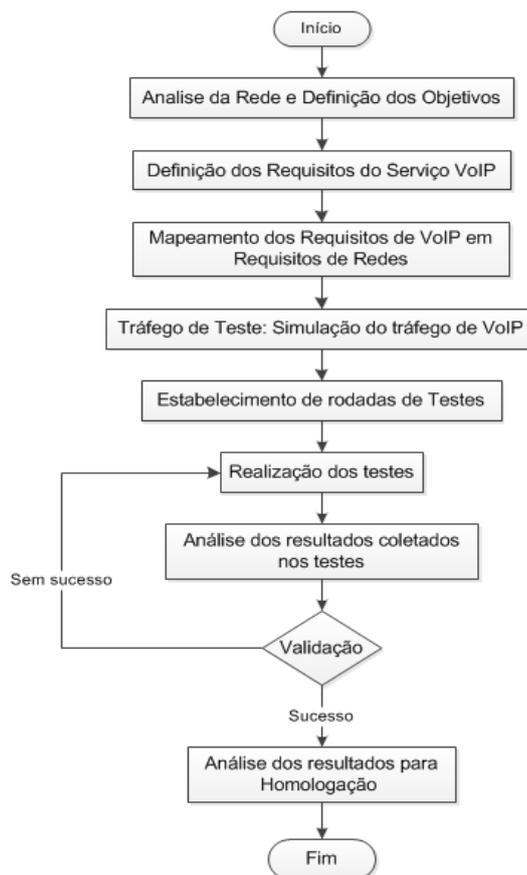


Figura 3: Fluxograma da metodologia

#### 4.1 Análise da Rede e Definição dos Objetivos

A primeira etapa consiste em realizar um levantamento do cenário atual, evidenciando possíveis limitações aparentes da rede onde poderão surgir obstáculos para a implantação do VoIP. Trata-se de um estudo inicial para a definição dos objetivos requeridos para o serviço. Neste momento as principais características da rede de dados são levantadas construindo o cenário atual a ser homologado.

#### 4.2 Definição dos Requisitos do Serviço VoIP

Nesta etapa são definidos os parâmetros de qualidade requeridos a serem validados para homologação da rede. Os parâmetros de entrada para da rede são:

- Número de chamadas simultâneas;
- Horário de funcionamento do serviço;
- Codec a ser considerado;
- Utilização de supressão de silêncio;
- Qualidade mínima das chamadas VoIP;

Esses parâmetros são importantes para definir as características inerentes ao processo de homologação. O número de chamadas simultâneas em conjunto com o Codec a ser considerado

e a utilização de supressão de silêncio definirão a vazão estimada. O horário de funcionamento do serviço vai definir os horários e quantidade dos testes a serem realizados. A qualidade mínima das chamadas VoIP trata-se de um valor subjetivo para expressar a qualidade esperada pelo cliente para o serviço VoIP.

#### 4.2.2 Métrica de Qualidade de Voz Utilizada

Para definição da qualidade de voz será utilizada como padrão a escala MOS, obtido através da conversão do Fator R baseado no modelo E-Model. O valor recomendado de MOS é superior ao valor quatro, para que desta forma atinja o nível desejável, conforme figura 4, confirmado a homologação da rede para VoIP, com um nível de comparável ao sistema telefônico tradicional.

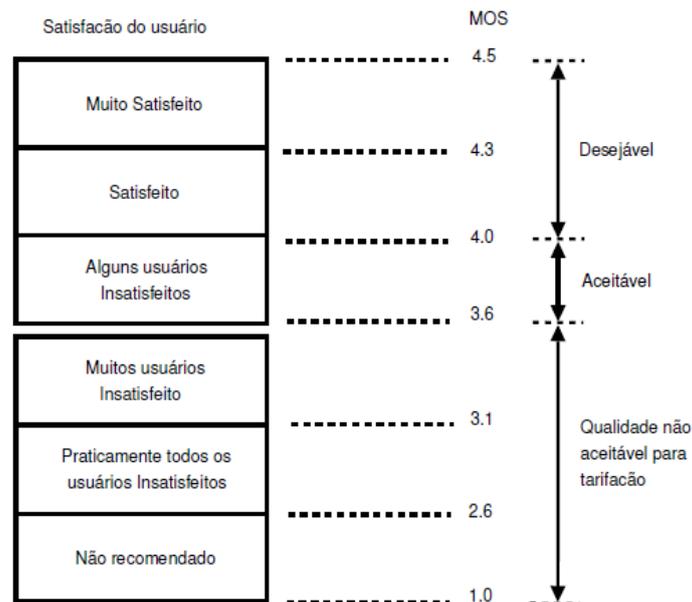


Figura 4: Satisfação do usuário

Com base nestes fatores iniciais será utilizado a fórmula do fator. A maioria dos valores desta fórmula assumem valores default do E-Model padronizados pela recomendação (G.107, 2008), sendo adicionados os fatores que serão calculados através da rede e os parâmetros específicos para cada Codec juntamente com o uso de supressão de silêncio. Em um cenário ideal o calculo do fator R Padrão assume o seguinte formato e valores exposto na equação 4.1 a partir da recomendação (G.107, 2008):

$$R = R_o - I_s - I_d - I_e + A \quad (4.1)$$

Para o valor de **R<sub>o</sub>** a recomendação do ITU-T apresenta o valor padrão para o componente **R<sub>o</sub>** = 94,77. Para o componente **I<sub>s</sub>**, com as mesmas recomendações temos o seguinte contexto n equação 4.2.

$$I_s = I_{olr} + I_{st} + I_q \quad (4.2)$$

Onde o **I<sub>olr</sub>** representa a perda de qualidade causada pelos ruídos enviados e recebidos (**OLR**). O **I<sub>st</sub>** se refere à degradação devido ao eco de efeito local. Já o **I<sub>q</sub>** representa a distorção de quantificação causada pela digitalização do sinal. Baseando-se nos valores default da

recomendação (G.107, 2008) este parâmetro assume o valor  $I_s = 1,43$ . O componente **Id** apresenta a seguinte composição conforme equação 4.3.

$$Id = Idte + Idle + Idd$$

(4.3)

O fator **Idte** trata-se de uma estimativa referente às degradações devido ao eco do lado do emissor. Da mesma forma o **Idle** apresenta o eco resultante do receptor. Já o fator **Idd** representa a degradação causada pelo atraso absoluto (**Ta**) sendo um fator importantíssimo e com grande variabilidade na equação. Contudo, assumindo-se valores default e valores desejados para estes parâmetros o resultado é  $Id = 0,14$ .

O componente **Ie** representa o fator de perturbação causada pelo equipamento utilizado, sendo relacionado diretamente ao codec utilizado e ao uso de supressão de silêncio. Além da perda de codificação este fator considera a degradação por perda de pacotes e a robustez que o codec tem a essas perdas apresentando na recomendação (G.113, 2007). Desta forma o **Ie** assume por default o valor 0.

O fator de vantagem (**A**) define a expectativa do usuário em relação ao serviço. O valor deste fator depende do tipo de sistema de comunicação utilizado e seus valores estimados pela (G.107, 2008) estão contidos na tabela 6 sendo o valor default  $A = 0$ .

Desta forma com os valores iniciais a fórmula de cálculo **R** assume os seguintes valores

$$R = 94.77 - 1.43 - 0.14 - 0 + 0 \rightarrow R = 93.2$$

### 4.3 Mapeamento dos Requisitos de VoIP em Requisitos de Redes

Baseado nos requisitos dos serviços VoIP, serão identificados os requisitos de rede necessários. Nesta metodologia são considerados os seguintes parâmetros de qualidade: Atraso, variação do atraso, perda de pacotes e vazão.

#### 4.3.1 Recomendação de Atraso, Variação de Atraso e Taxa de Perdas

Em um cenário ideal, com o MOS atingindo seu valor máximo, os parâmetros de rede devem respeitar os valores especificados na tabela 3, baseado nas recomendações (ETSI, 1998). Estes são os parâmetros de rede básicos que serão analisados e por convenção devem se manter dentro deste contexto. Caso não sejam respeitados haverá alterações na qualidade da voz perceptíveis aos usuários.

Categorias de Qualidade	Atraso fim-a-fim	Média das perdas de pacotes	Variação de atraso	Satisfação do Usuário
Melhor	< 150 ms	0,5%	< 50 ms	Muito Satisfeito
Alto	< 250 ms	3%	< 75 ms	Satisfeito
Médio	< 350 ms	15%	< 125 ms	Alguns Usuários Insatisfeitos

Baixo	< 450 ms	25%	< 225 ms	Muitos Insatisfeitos	Usuários
-------	----------	-----	----------	-------------------------	----------

**Tabela 3: Parâmetros de referência de Rede**

Estes requisitos terão influência no cálculo do valor de MOS que será obtido. Utilizando como referência o E-Model para o atraso, seu valor é atribuído a **Idd**, que faz parte do componente **Id** na fórmula de cálculo de R. Conforme (G.107, 2008) atrasos totais (**Ta**) menores que 100ms podem ser desconsiderados. Caso o atraso seja maior que 100ms deve-se utilizar a equação 4.4.

**Para  $Ta \leq 100$  ms:**

$$Idd = 0$$

**Para  $Ta > 100$  ms:**

$$Idd = 25 \left\{ \left( 1 + X^6 \right)^{\frac{1}{6}} - 3 \left( 1 + \left[ \frac{X}{3} \right]^6 \right)^{\frac{1}{6}} + 2 \right\} \quad (4.4)$$

**Onde:**

$$X = \frac{\log\left(\frac{Ta}{100}\right)}{\log 2} \quad (4.5)$$

Para o caso da taxa de perda de pacotes, seu valor impacta diretamente a componente **Ie** do cálculo de R. Na recomendação (G.107,2008) o fator de perda efetivo é dado pela seguinte equação 6.8.

$$Ie-eff = Ie + (95 - Ie) \cdot \frac{Ppl}{\frac{Ppl}{BurstR} + Bpl} \quad (4.6)$$

Onde **Bpl**, representa a robustez do Codec a perdas, seu valor pode ser consultado em (G.113, 2007) no apêndice 1 desta recomendação. **Ppl** significa a taxa de perda efetiva, calculada através da relação entre o número de pacotes perdidos sobre o número de pacotes transmitidos. Com relação a Variação do atraso, apesar de não ser um parâmetro diretamente ligado ao cálculo do MOS, o mesmo influencia negativamente a perda de pacotes caso o tempo seja elevado, devido a limitação de tamanho de buffers.

### 4.3.2 Cálculo da Vazão

Com a definição dos parâmetros iniciais de VoIP requeridos, é preciso calcular a vazão que será gerada baseada principalmente no codec utilizado e número de chamadas simultâneas requeridas. Esta vazão é dependente do número de chamadas simultâneas, Codec a ser considerado e utilização ou não da supressão de silêncio.

Neste ponto temos basicamente dois cenários existentes que coincidem com a utilização ou não do fator de supressão de silêncio. Caso este fator não seja utilizado será gerado um fluxo constante de dados CBR (*Constant Bit Rate*) que será multiplicado pelo número de chamadas simultâneas requeridas. Caso seja adotado a supressão de silêncio um fluxo VBR (*Variable Bit Rate*) será gerado por chamada, no entanto devido ao número de chamadas simultâneas, os fluxos VBR serão equivalentes ao longo do tempo, caracterizando um tráfego CBR agregado

constante. A tabela 4 apresenta as características de tráfego inerente aos principais Codecs recomendados pela ITU-T, sem a habilitação da supressão de silêncio.

Codec	Taxa nominal (kbps)	Tamanho do pacote de voz (ms)	Tamanho do payload (bytes)	Tamanho total do datagrama IP (bytes)	Taxa a nível IP (kbps)
G.711	64	20	160	200	80,00
G.726	32	15	60	100	55,20
G.729	8	20	20	60	24,00
G.723.1m	6,4	30	24	64	17,07
G.723.1a	5,3	30	20	60	16,00

**Tabela 4: Características de rede dos Codecs**

Com estes fatores definidos é possível estimar se alguns fatores iniciais da rede serão atendidos, principalmente relacionados a vazão. Em suma, o cálculo da vazão necessária caso não seja habilitado a supressão de silêncio é dada por:

$$\text{VazãoVoIP} = \text{NúmeroChamadas} * \text{TaxaDoCodecANívelIP}$$

Por exemplo, para o caso de um tráfego CBR, gerado pela ausência da supressão de silêncio, proveniente do Codec G.711 e supondo um número de 10 chamadas simultâneas, a vazão a ser garantida pela rede é de 800kbps.

Para casos onde se utilize o fator de supressão de silêncio, o tráfego por chamada deverá ser variável sofrendo uma redução. Conforme PETIT, (2005) durante uma chamada telefonica por se tratar de uma conexão half-duplex e com intervalos de pausa, falamos em média durante cerca de 35% do tempo. Porém é conveniente estimar um valor de 50% abrangendo um padrão maior de conversação e levando em consideração o funcionamento do algoritmo de VAD (*Voice Activity Detection*).

Desta maneira (PETIT, 2005) apresenta a fórmula para o cálculo da largura de banda necessária quando houver um número N de conversações simultâneas não correlacionadas a uma mesma conexão. Como as chamadas simultâneas não estão ativas durante todo o tempo, a largura de banda exigida será menor do que simplesmente o produto da multiplicação do número de chamadas simultâneas pela taxa efetiva do Codec. Portanto caso N seja elevado a largura de banda será N vezes a taxa de transmissão de bits média de uma conversação conforme abaixo:

$$\text{VazãoVoIP} = N * ( aM + (1 - a) m )$$

Onde **M** é a taxa do codec na atividade de voz e **m** a taxa do codec no período de silêncio Aplicando a fórmula para o codec G.7231 com um número de 10 chamadas simultâneas, por exemplo, o cálculo seria desta forma:

$$M = 14,83 \text{ kbps}, m = 3,73 \text{ kbps}, a = 0,5$$

$$\text{VazãoVoIP} = 10 * ( 0,5 * 14,83 + ( 1 - 0,5 ) * 3,73 ) = 92,8 \text{ kbps}$$

Um outro fator que não pode ser desconsiderado neste ponto é o tráfego de fundo existente na rede. Este será somado a vazão gerada, competindo com as aplicações VoIP que serão implantadas e podem afetar o seu correto funcionamento. Ambientes que exigem um maior desempenho da rede tendem a oferecer resultados insatisfatórios ou muita variabilidade na qualidade de comunicação.

#### 4.4 Tráfego de Teste: Simulação do tráfego de VoIP

Após as definições dos parâmetros de rede será necessário especificar o tráfego de testes que será gerado para avaliação da rede de dados simulando um tráfego VoIP. Este tráfego possui características próprias baseado nos parâmetros adotados para homologação. O tamanho do pacote de voz gerado por cada codec é dado em intervalos de tempo. Desta maneira o cálculo do número de pacotes por segundo que serão transmitidos é dado por:

$$\text{PPS} = \text{Bit Rate do codec} / \text{Tamanho do } \textit{payload} \text{ de voz}$$

Por exemplo para o Codec G.711 o cálculo seria de:

$$\text{PPS} = 64000 / (160 * 8)$$

$$\text{PPS} = 50$$

Para o caso de um tráfego de teste CBR sem supressão de silêncio proveniente, por exemplo, do codec G.711 supondo um número de 10 chamadas simultâneas os parâmetros.

Vazão do agregado: 800kbps

Tamanho do Pacote: 200 Bytes

Pacotes por segundo : 500

Para o caso de Codecs com supressão de silêncio, como, por exemplo, os Codecs G.729 e G.723.1, apesar do tráfego gerado por ligação ser do tipo VBR, o tráfego de teste gerado será CBR , devido a simulação do tráfego agregado de voz gerado pelo número de chamadas simultâneas.

Para o Codec G.729, supondo um número aleatório de 10 chamadas simultâneas, o tráfego de testes segue os valores abaixo:

Vazão do agregado estimada:  $24\text{kbps} * 0.5 * \text{NúmeroChamadas} = 120\text{kbps}$

Tamanho do Pacote: 60 Bytes

Já para o Codec G723.1:

Vazão do agregado estimada:  $17,7\text{kbps} * 0.5 * \text{NúmeroChamadas} = 85,35\text{kbps}$

Tamanho do Pacote: 64 Bytes

O fluxo de testes gerado será sempre analisado no sentido sainte visando homologar o cenário local de rede que é a proposta deste estudo. Em ambos os casos será gerado um tráfego intrusivo que se refere à injeção controlada de pacotes na rede.

## **4.5 Estabelecimento de rodadas de Testes**

É necessário realizar um planejamento para que seja realizada a coleta dos dados que visa fornecer as informações necessárias para a homologação da rede. Para tanto é necessário planejar os dias e horários que as medições devem ser realizadas, evitando encontrar situações que não refletem a realidade do ambiente.

Todas as coletas devem ser registradas, com o máximo de informações possíveis, para que possam ser contabilizadas no processo de homologação. Para tanto serão estipuladas rodadas de testes onde os dados são coletados e para cada rodada valores de MOS serão calculados e avaliados.

O termo rodada de testes se refere a uma rotina de testes que fornecerá resultados preliminares sobre as medições. Dentro de cada rodada de testes, será realizado um número definido de testes. Cada teste fornecerá um resultado próprio que será agregado aos demais testes da mesma rodada para comparações e definições de um valor médio. Ao final será obtido os valores referentes a cada rodada de testes que em suma trata-se dos valores médios dos testes de cada rodada.

Neste momento dois fatores são importantes para a definição sobre as rodadas de testes: período e quantidade de rodadas de testes.

### **4.5.1 Período dos Testes**

Com base no parâmetro inicial do horário de uso da rede, é possível definir o período em que os testes devem ser realizados. As medições devem ser constantes para abranger padrões e características da rede, evidenciando possíveis picos de utilização da rede.

A intenção neste ponto é que testes sejam realizados durante o período de um dia com medições espaçadas no tempo buscando garantir uma quantidade de amostras relevantes para análise.

Por exemplo, programar rodadas de testes iniciando as 09:00hs com novos testes sendo iniciados a cada 20 minutos e assim sucessivamente.

### **4.5.2 Quantidade de Rodadas de Testes**

A quantidade de rodadas de testes é outro fator diretamente ligado e delimitado pelo horário de funcionamento da rede. Com base nesse valor inicial é possível estimar a quantidade de rodadas de testes que se fazem necessárias para o completo monitoramento da rede. Em um primeiro momento foi definido por convenção que sejam realizadas rodadas de testes a cada hora, com testes a cada vinte minutos, totalizando três medições por hora. Busca-se abranger com medições, distintos intervalos de tempo onde situações sazonais podem ocorrer em uma rede de dados.

A cada rodada serão realizados testes com duração de 2 minutos, este valor foi utilizado por se entender como um valor médio de duração de chamadas entre unidades. Um estudo mais aprofundado poderia ser realizado para cada cliente, verificando o tempo médio de duração de chamadas entre unidades para oferecer um cenário mais próximo da realidade, desde que haja um meio confiável para consultar estes dados. Pretende-se com esse leque de medições abranger as características próprias da rede em

questão. As rodadas de testes serão realizadas utilizando os parâmetros e especificação abaixo como valores iniciais:

- **Periodicidade:** 20 min
- **Duração de cada teste:** 2 min
- **Fluxo de destino:** Filial -> Matriz
- **Característica do Tráfego de Teste:** Calculado como definido na Seção 6.4.

A proposta é que, mesmo existindo uma rede de comunicação entre unidades, a metodologia seja executada para cada unidade como um cenário isolado da rede, devido a possibilidades de cenários distintos de comunicação que podem gerar alterações no resultado. Será gerado um fluxo de saída para uma unidade, onde as medições serão baseadas na origem do tráfego.

#### **4.6 Realização dos testes**

Para a execução da metodologia baseada em testes na rede um assunto importante é definir as ferramentas que serão utilizadas para aplicar a metodologia propriamente dita e realizar as devidas medições na rede. Este item acaba não fazendo parte da metodologia propriamente dita, mas sem uma definição da ferramenta a ser utilizada fica inviável a sua execução. Para a execução deste estudo analisamos ferramentas disponíveis no mercado capazes de fornecer as métricas necessárias e optou-se para utilização do OWAMP que continha todos os requisitos necessários.

##### **4.6.1 OWAMP**

O OWAMP é um exemplo de implementação do protocolo de mesmo nome *One-Way Active Measurement*. O OWAMP permite determinar métricas de atrasos e perdas de pacotes em ambos os sentidos. O principal objetivo de seu desenvolvimento se refere a diagnosticar incidentes na rede como congestionamentos, roteamentos assimétricos e enfileiramento de pacotes. A especificação do OWAMP baseia o seu funcionamento no tradicional modelo cliente/servidor e estabelece que o protocolo é dividido em duas partes OWAMP-Control e OWAMP-Test.

#### **4.7 Análise dos resultados coletados**

Com as rodadas de testes definidas, as mesmas serão executadas e seus resultados precisam ser tratados e sofrer um processo de validação. Esta etapa, portanto consiste em coletar os dados, avaliá-los para que forneçam informações coerentes a respeito da rede, adequando o modelo à realidade, se necessário.

##### **4.7.1 Análise em cada teste**

Cada teste realizado através da ferramenta irá fornecer, após o tratamento dos dados, os valores médios de atraso, jitter e a taxa de perda de pacotes, que permitirão posteriormente calcular o MOS médio, estimado nestes 2 minutos de duração do teste. Os valores dos requisitos de rede coletados em cada teste são tratados estatisticamente, onde serão calculados o Desvio Padrão e o Intervalo de Confiança, para que além de oferecer confiabilidade possam ser comparados com os outros testes realizados na mesma rodada. Como parâmetro para o Intervalo de Confiança será utilizado o padrão de 95% .

##### **4.7.2 Análise em cada rodada de testes**

Dentro de cada rodada de testes, será feita uma comparação entre os valores médios calculados nos outros testes para validação das medições, calculando, um MOS médio para a rodada de testes. Se o valor do Intervalo de Confiança de 95% não oferecer a precisão esperada, devido a uma variabilidade excessiva sobre ao valor médio dentro de uma mesma rodada de testes, a situação precisa ser avaliada. Caso isto ocorra a rodada precisa ser aprimorada para tentar minimizar a probabilidade de erro nas medições.

Neste caso da variabilidade ser detectada, opta-se por dobrar a quantidade de testes na rodada atual. O processo pode ser repetido caso seja necessário, totalizando no máximo 12 testes por rodada que seria o limite desta metodologia. Caso as condições estatísticas básicas estabelecidas não forem satisfeitas poderá ser necessário retornar as etapas anteriores do modelo para que os parâmetros e estratégia sejam reavaliados, visando garantir melhorias no processo de homologação da rede em questão.

#### **4.8 Análise dos resultados para Homologação**

A etapa de análise dos resultados visa interpretar os resultados obtidos através da execução das rodadas de testes inerentes ao contexto de homologação na rede. Os dados coletados em cada rodada de testes que foram tratados através de métodos estatísticos convencionais e convertidos em escalas de qualidade estabelecidas serão apresentados para validação sobre a homologação da rede.

Após o tratamento os valores coletados são convertidos para a escala MOS, encontrando um valor MOS médio de cada rodada de testes. Desta forma serão avaliados o valor MOS médio aceitável para o modelo. Para que haja a homologação da rede, os resultados do MOS médio de cada rodada de testes necessitam ser iguais ou superiores ao estipulado como requisito de qualidade mínima das chamadas VoIP na entrada do modelo.

Desta forma é possível obter uma forma conclusiva de medir a qualidade de voz na rede. É esperado neste momento que se obtenham resultados conclusivos com base nas informações coletadas que foram previamente validadas estatisticamente. Caso os resultados sejam insatisfatórios, medidas deverão ser tomadas ou com a redução de parâmetros de entrada ou melhorias na garantia de qualidade da rede para que o ciclo metodológico possa ser reiniciado.

### **5 Estudo de caso**

Com o esboço da metodologia definida, foi necessário aplicá-la ao cenário proposto para homologação. Será analisado, através dos parâmetros de entrada, se refletem a qualidade esperada na rede. Com base nas amostras coletadas será feita a validação das informações para chegar ao consenso de homologação da rede.

#### **5.1 Análise da Rede e Definição dos Objetivos**

O cenário proposto para homologação trata-se de uma pequena rede da filial de uma empresa que tem como objetivo se comunicar com sua matriz através de VoIP utilizando sua conexão de Internet. O ambiente possui uma conexão com a Internet ADSL contratada de uma operadora telefônica com a taxa nominal de 5 MB. A rede retratada na figura 5 dispõe atualmente de seis computadores e uma impressora interligados via rede cabeada.

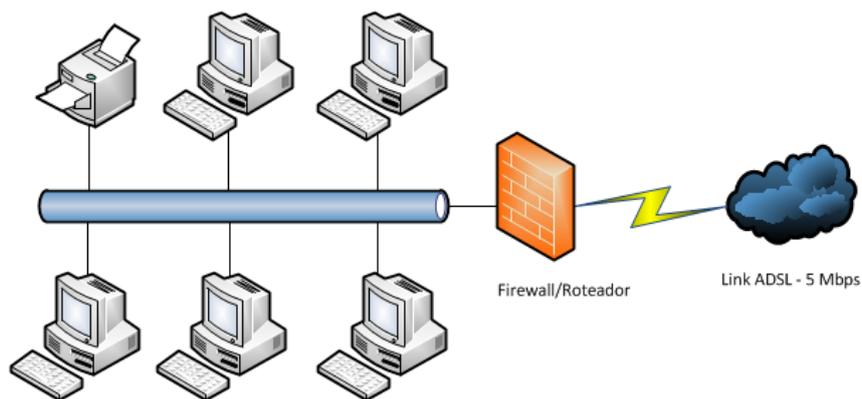


Figura 5: Diagrama da rede local.

## 5.2 Definição dos Requisitos do Serviço VoIP

Com a análise inicial da rede efetuada é necessário especificar os requisitos do serviço VoIP requeridos pelo cliente. O cenário existente trata-se de uma pequena empresa com limitações claras quanto ao fluxo devido à largura de banda existente. Diante deste cenário e baseado-se nas necessidades do cliente são definidos os requisitos que são os parâmetros de entrada para a homologação da rede.

- **Número de chamadas simultâneas:** Duas
- **Horário de funcionamento do serviço:** 08:00 às 12:00hs e 14:00 às 18:00hs, dias úteis.
- **Codec a ser considerado:** G.711
- **Utilização de supressão de silêncio:** Não
- **Qualidade mínima das chamadas VoIP:** MOS > 4 ou Desejável

Optou-se por estes valores por representar a necessidade da empresa em número de chamadas simultâneas buscando a melhor qualidade possível na voz transmitida via VoIP. Com base nestes parâmetros é possível dar prosseguimento as próximas etapas previstas para homologação da rede com uma qualidade desejável de valor 4 ou superior na escala MOS.

## 5.3 Mapeamento dos Requisitos de VoIP em Requisitos de Redes

Com base no valor mínimo de qualidade definido no valor 4 da escala MOS, é necessário avaliar quais os requisitos de rede necessários para que este objetivo seja alcançado. Desta forma estes requisitos seguem conforme as próximas etapas subsequentes.

### 5.3.1 Recomendação de Atraso, Variação de Atraso e Taxa de Perdas

Como o valor de MOS será calculado através da conversão do Fator R obtido através da equação descrita anteriormente, não é possível definir um valor correto para estes parâmetros, já que pode ser influenciado por diversos fatores, mas baseado-se na qualidade mínima exigida para homologação é possível convencionar alguns limites de valores.

Conforme verificado, é requerida uma alta qualidade para os serviços VoIP neste ambiente de rede. Desta forma serão necessários que os requisitos de rede sejam minimamente atendidos para que se alcance um MOS superior a 4. Portanto para que este valor seja alcançado

será necessário que a rede garanta os valores recomendados conforme a tabela 3 para atraso inferior a 150ms, variação de atraso inferior a 50ms e taxa de perda de pacotes abaixo de 0,5%.

### 5.3.2 Cálculo da Vazão

Com relação à vazão, no caso foram especificadas duas chamadas simultâneas que utilizam o Codec G.711 sem supressão de silêncio, gerando um fluxo constante CBR que deverá ser suportado ao concorrer com o tráfego de fundo existente na rede. Desta maneira o cálculo ficaria assim:

$$\text{VazãoVoIP} = 2 * 80\text{kbps}$$

$$\text{VazãoVoIP} = 160\text{kbps}$$

### 5.4 Tráfego de Teste: Simulação do tráfego de VoIP

Com base nos parâmetros adotados para homologação, será necessário gerar uma simulação de tráfego baseada nos valores especificados. Conforme visto anteriormente será gerado um tráfego com características CBR e com valor de 160 kbps. Neste contexto é preciso calcular também o número de pacotes por segundo (PPS) para o tráfego de testes conforme abaixo:

$$\text{PPS} = 64000 / (160 * 8) * \text{Número de chamadas}$$

$$\text{PPS} = 100$$

Como parte da característica do Codec G.711 serão gerados 50 pacotes por segundo, ou seja, um a cada 20ms, por fluxo de chamada, sendo cada um destes do tamanho de 200 Bytes.

Portanto o tráfego de testes gerado neste cenário é especificado conforme abaixo:

**Vazão do agregado:** 160kbps

**Tamanho do Pacote:** 200 Bytes

**Pacotes por segundo:** 100

Desta forma será gerado um tráfego intrusivo tipo UDP, simulando o uso do codec G.711 na rede. O tráfego de testes gerado será enviado da origem a rede local até o servidor criando o cenário para a coleta dos testes e posterior avaliação da rede local

### 5.5 Estabelecimento de rodadas de Testes

Definidos os parâmetros e tráfego de testes a ser gerado, partiu-se então pra o estabelecimento das rodadas de medições. Baseado no contexto de horário de funcionamento do serviço, que prevê um intervalo de 8 horas foi estipulado o período de testes. A partir deste ponto foram definidas as rodadas de medição a serem realizadas dentro deste período.

#### 5.5.1 Período dos Testes

Conforme especificado anteriormente, inicialmente os testes serão realizados durante um dia de operação da rede durante o horário de funcionamento do serviço informado.

#### 5.5.2 Quantidade de Rodadas de Testes

A princípio foram definidas 8 rodadas de testes, cada uma contendo 3 testes, caracterizando desta maneira uma periodicidade de 20 minutos e um total de 24 testes diários. Cada teste possui a duração estimada de dois minutos como já estipulado anteriormente e estruturado abaixo para este ambiente de teste.

- **Periodicidade:** 20 min

- **Duração de cada teste:** 2 min

- **Fluxo de destino:** Filial -> Matriz

- **Codec:** G.711

- **Vazão do agregado:** 160 Kpbs

- **Tamanho do pacote:** 200 Bytes

- **Pacotes por segundo:** = 100.

Foi realizado um planejamento de horários que segue as informações destacadas na tabela 5, visando analisar o comportamento diário da rede. Cada teste retornará as métricas selecionadas de atraso, variação do atraso e perda de pacotes que serão utilizados para cálculo do valor de R.

Rodada/Teste	Teste 1	Teste 2	Teste 3
Rodada 1	08:00	08:20	08:40
Rodada 2	09:00	09:20	09:40
Rodada 3	10:00	10:20	10:40
Rodada 4	11:00	11:20	11:40
Rodada 5	14:00	14:20	14:40
Rodada 6	15:00	15:20	15:40
Rodada 7	16:00	16:20	16:40
Rodada 8	17:00	17:20	17:40

Tabela 5: Planejamento das rodadas de medições.

## 5.6 Realização dos testes.

Para a realização dos testes durante os 2 minutos propostos com a geração do tráfego de testes foi utilizada a ferramenta OWAMP. A ferramenta foi instalada conforme sua característica, em sistemas Linux, no modo cliente/servidor. O cliente é a rede local a ser avaliada com acesso ADSL e o servidor simulando a matriz da organização foi hospedado no servidor biblio.inf.ufsc.br da UFSC, sendo este o destino dos fluxos de chamadas.

A partir de então uma rotina de envio de pacotes foi criada no OWAMP para o envio de dois fluxos de dados durante os dois minutos propostos na metodologia. Produzindo desta forma o tráfego CBR para a simulação do tráfego de voz do codec G.711 sem supressão de silêncio, de forma intrusiva juntamente com o tráfego existente na rede.

O OWAMP retorna os resultados de atraso referente a cada pacote transmitido, além de, jitter e a taxa de perda de pacotes. O OWAMP fornece essas métricas em ambos os sentidos, facilitando a detecção de limitações em algum sentido da rede. Para que um valor absoluto seja encontrado é preciso somar os valores obtidos em cada um dos sentidos.

### 5.7 Análise dos resultados coletados

Referente aos dados coletados, depois de tratados, é necessário realizar uma validação em cada rodada para uma possível calibração da própria rodada de testes. Os valores não podem apresentar uma variabilidade considerável dentro de uma mesma rodada. As medidas levaram em consideração um índice de confiança de 95% para os valores médios para os requisitos de rede impactantes no cálculo do MOS e definição da qualidade na rede.

Com relação ao atraso médio coletado, foi possível analisar que não houve grandes discrepâncias aos valores coletados em cada rodada. Apesar dos valores serem apresentados em ms, o intervalo de confiança medido forneceu um alto grau de precisão para os valores médios, oferecendo uma variabilidade aceitável neste contexto. Além disto, os dados coletados estão muito abaixo dos especificados como requisitos na etapa 3 da metodologia que era o limite de 150ms, desta maneira não sendo necessário aplicar uma alteração na quantidade de testes a serem realizados.

Sobre a variação do atraso (Jitter) também foi observado uma estabilidade aceitável em todos os testes, relacionado também pelo pequeno atraso verificado nas medições, o que implica em um outro fator aceitável com relação às rodadas de testes da metodologia e qualidade esperada da rede.

Referente a perda de pacotes, os valores podem ser observados na tabela 11, onde são apresentados os valores coletados em cada teste realizado. Todos os valores sempre se mantiveram bem abaixo do 0,5% que era requerido. Houve novamente pouca variação entre os testes de uma mesma rodada, não sendo necessária nenhuma ação específica.

Com a validação das medições realizadas em cada rodada é possível definir um valor médio de R e conseqüentemente de MOS baseada nas médias obtidas em cada rodada. Desta forma os valores médios de MOS foram obtidos em cada teste e cada rodada horária de testes para que os requisitos da próxima etapa da metodologia sejam alcançados, onde os valores serão apresentados e comparados.

### 5.8 Análise dos resultados para Homologação

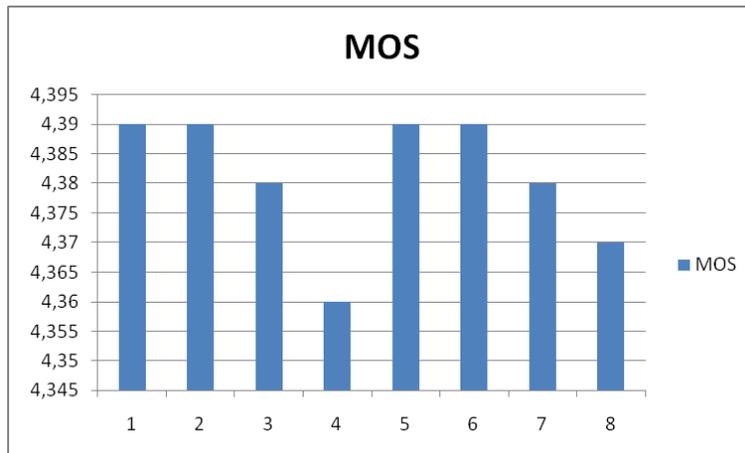
Com os resultados das rodadas de testes validados será necessário avaliar o contexto completo da homologação. Os valores obtidos através das medições e calculados através dos parâmetros de rede em cada rodada podem ser resumidos e observados na tabela 6.

Rodada	1	2	3	4	5	6	7	8
Atraso Médio	9,45	11,44	12,43	16,68	11,87	11,68	12,68	13,3
Jitter	9,86	15,1	15,13	13,26	14,9	12,96	13,1	15,23
Perda de Pacotes	0,04%	0,07%	0,08%	0,17%	0,04%	0,05%	0,10%	0,13%

<b>Fator R</b>	92,5	92,13	92	91,06	92,36	92,26	91,83	91,53
<b>MOS</b>	4,39	4,39	4,38	4,36	4,39	4,39	4,38	4,37

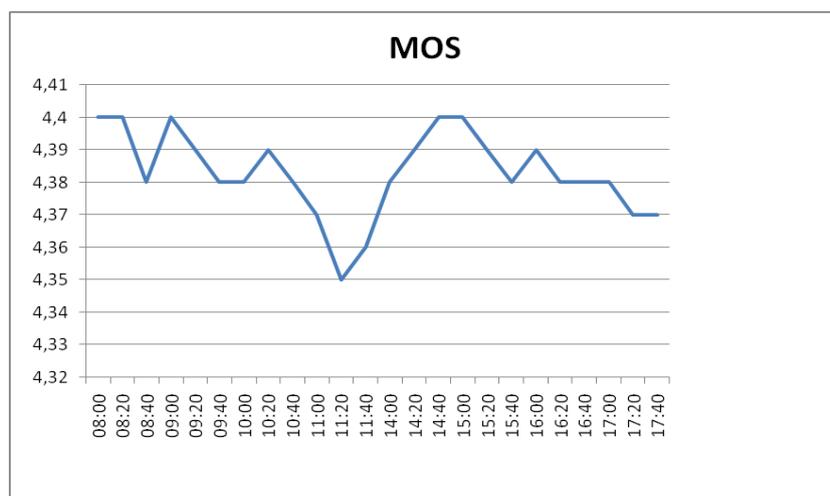
**Tabela 6: Resumo das rodadas de medições.**

O valor MOS calculado em cada rodada é apresentado nas figura 6. É possível observar o comportamento destes valores calculados através das medições realizadas. Como pode ser analisado não há muita variabilidade destes valores que continuam sempre com valores relativos à alta qualidade de voz estimada.



**Figura 6: Valor MOS por rodada de teste.**

Ainda referente ao valor MOS é possível verificar o seu comportamento temporal em cada teste realizado dentro das rodadas de testes. A figura 7 apresenta estes valores demonstrando o comportamento deste fator de qualidade durante os horários coletados. O Valor de MOS varia entre 4,35 e 4,4 havendo uma variação pequena nestes valores, que para o usuário seria praticamente imperceptível. O valor praticamente manteve-se estável durante todo o período de testes, com os seus valores mais baixos detectados no período entre 11:00hs e 12:00hs, da mesma forma como observado anteriormente para a perda de pacotes.



**Figura 7: Valor MOS por horário.**

A tabela 7 apresenta o tratamento estatístico realizado referente ao MOS em cada rodada de testes. É possível verificar que o Intervalo de confiança gerado através das 8 rodadas de testes expressa com confiabilidade os limites para os valores médios do MOS. Contudo o valor médio de MOS deste estudo atingiu o valor de 4,38, sendo um valor elevado que representa uma alta qualidade de voz.

Média	Desv. Pad.	IC	Valor Min.	Valor Max.
4,381	0,011259916	0,0078	4,373	4,389

**Tabela 7: Tratamento estatístico para MOS.**

Portanto os valores alcançados nas rodadas de testes sempre estiveram bem acima do valor quatro estipulado como o mínimo aceitável para a qualidade. Desta forma é possível concluir que a rede se encontra homologada a oferecer a tecnologia VoIP com uma boa qualidade superando o valor quatro proposto na escala MOS na definição dos requisitos VoIP.

## 6 Conclusões

O crescente cenário de comunicação entre redes entre matriz e filiais de uma organização aliados a necessidade de redução de custos são fatores motivadores ao uso de VoIP. Como visto durante este trabalho a questão da qualidade é um fator muito impactante para a disseminação da tecnologia VoIP, devido a comparação inevitável ao sistema telefônico tradicional. . Portanto, apesar das vantagens da utilização de VoIP, o serviço precisa ser fornecido com qualidade aceitável ao usuário.

Desta forma é necessário que haja um devido estudo e planejamento para que se possa usufruir das facilidades desta tecnologia. A etapa de homologação proposta visa auxiliar neste processo de implantação de VoIP e avaliação da qualidade esperada para o serviço. O objetivo principal deste trabalho foi elaborar uma metodologia que busca fornecer uma alternativa para a homologação de rede de dados cabeadas para o uso de VoIP. Baseado-se em parâmetros de entrada de qualidade e requisitos de redes, visa apresentar a qualidade de voz esperada através da realização de medições planejadas.

Através de um estudo de caso a metodologia proposta conseguiu fornecer informações relevantes ao contexto de homologação através do estudo e medições realizadas. Os valores foram tratados e apresentados demonstrando a funcionalidade desta metodologia para o objetivo proposto. É possível que hajam melhorias a serem propostas para a metodologia, pois os ambientes de rede tendem a fornecer padrões variáveis, por isto é interessante que a metodologia seja avaliada em outros cenários, visando um melhor ajuste do modelo para oferecer maior confiabilidade.

## 7 Referencias Bibliográficas

CARDEAL, S. O. **Métodos de Avaliação de QoS em Serviços de Voz sobre Redes IP**. Dissertação de Mestrado Universidade De Trás-os-Montes e Alto Douro. Portugal, Leiria, 2010.

COLCHER, Sérgio; GOMES, Antonio Tadeu A.; SILVA, Anderson Oliveira; SOUZA FILHO, Guido L.; SOARES, Luiz Fernando G.. **VoIP – Voz sobre IP** 2. ed, Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

HERSENT, O., GUIDE, D., PETIT, J., **Telefonia IP – Comunicação Multimídia Baseada em Pacotes**. Addison Wesley. São Paulo 2002.

ITU-T, Recommendation P.800. **Methods for subjective determination of transmission quality**. ITU-T. Suíça, 1996

ITU-T, Recommendation G.107. **The E-model, a computational model for use in transmission planning**. ITU-T. Suíça, 2008

ITU-T, Recommendation G.113. **Transmission impairments due to speech processing**. ITU-T. Suíça, 2007

ITU-T E-Model. **R Value Calculation**. Acesso em Outubro de 2012. Disponível em <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/index.htm>

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

KUROSE, James F.; ROSS, Keith W. **Redes de computadores e a Internet: uma abordagem top-down**. 3. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2010.

OWAMP. **One-Way Ping (OWAMP)**. Acesso em Julho de 2012. Disponível em [www.internet2.edu/performance/owamp/](http://www.internet2.edu/performance/owamp/)

SILVA, M. A., **Um SLA para VoIP e seu mapeamento em uma rede DiffServ/MPLS** – Tese de Mestrado Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2005.

SOUZA, Fabiano Nunes Machado de Abreu e; BUENO, Mateus Cunha Pereira,

**Monitoração de Desempenho de Voz sobre IP**. Acesso em 19/06/12. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmondesvoip/>

TELECO. **VoIP / Telefonia IP – Tecnologias**. Acesso em 29/05/12. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tecvoip.asp>

VARPHONEX. **Requisitos de Banda de Internet e CODECs**. Acesso em 18/06/12. Disponível em <http://www.varphonex.com.br/knowledgebase/codecs-voz-voip.php>