



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS, GERÊNCIA E
SEGURANÇA DE REDES DE COMPUTADORES

GIOVANI HOFF DA COSTA

**Métricas para Avaliação de
Desempenho em Redes QoS sobre IP**

Trabalho de Conclusão apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
grau de Especialista

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin
Orientador

Prof. Dr. Sérgio Luis Cechin
Prof. Dr. Luciano Paschoal Gaspary
Coordenadores do Curso

Porto Alegre, dezembro de 2008.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann

Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion

Diretor do Instituto de Informática: Prof. Flávio Rech Wagner

Coordenadores do Curso: Profs. Sérgio Luis Cechin e Luciano Paschoal Gaspary

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Ao meu grande irmão, pelo apoio e compreensão,
À minha querida mãe, pelo amor, dedicação e atenção,
Ao meu perspicaz pai, pelo amor e orgulho,
À minha noiva Aline, por proporcionar sentido às minhas realizações.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	6
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
RESUMO	9
ABSTRACT	10
1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Métricas de Desempenho em Redes de Computadores	12
1.2 Contratos de Nível de Serviço	12
2 TESTE DE SERVIÇOS ETHERNET	14
3 BENCHMARKING	15
3.1 RFC 2544	15
3.1.1 Taxa de Transferência (Vazão).....	16
3.1.2 Latência.....	18
3.1.3 Variação de Latência (Jitter).....	18
3.1.4 Perda de Quadros.....	20
3.1.5 Erros.....	20
3.1.6 Sobrecarga Excessiva.....	20
3.1.7 Atraso Excessivo.....	20
3.1.8 Análise Fim-a-Fim (Back-to-Back).....	21
3.1.9 Largura de Banda.....	22
3.2 RFC 2889	22
3.2.1 Tamanho do Cachê de Endereçamento (Memory Fault).....	22
3.2.2 Taxa de Endereçamento.....	23
3.2.3 Taxa de Broadcast.....	23
3.2.4 Congestionamento.....	23
3.2.5 Bloqueio de Entrada Principal.....	24
3.2.6 Filtro de Quadros com Erro.....	24
3.2.7 Entrelaçamento Total (Fully Meshed).....	25
3.2.8 Muitos para Muitos Entrelaçamentos (Many to Many Mesh).....	26
3.2.9 Muitos para Um (Many to One).....	27
3.2.10 Um para Muitos (One to Many).....	27

3.2.11 Entrelaçamento Parcial (Partially Meshed)	27
3.3 RFC 3918	27
3.3.1 Teste de Acúmulo	28
3.3.2 Teste de Agregamento	28
3.3.3 Sobrecarga de Grupo	28
3.3.4 Sobrecarga de Latência.....	29
3.3.5 Teste de Distribuição	29
3.3.6 Teste de Capacidade do Grupo.....	29
3.3.7 Teste para Atraso em Registro de Grupo	29
3.3.8 Teste para Atraso em Cancelamento de Grupo	30
3.3.9 Teste de Latência	30
3.3.10 Teste de Entrelaçamento.....	30
3.3.11 Teste de Vazão por Mistura de Classes	30
3.3.12 Teste de Escala de Grupo	30
3.3.13 Teste para Vazão de Tunelamento.....	31
3.4 Segurança	31
4 CARACTERÍSTICAS AVANÇADAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO... 32	
4.1 Qualidade de Serviço (QoS).....	33
4.2 Análise de Desempenho em Redes QoS sobre IP	35
4.3 Novas Métricas de Teste	36
4.4 Teste sobre Camadas.....	37
4.5 Métrica por Fluxo de Dados (Per-flow)	38
5 CONCLUSÃO.....	40
5.1 Principais contribuições	40
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	40
REFERÊNCIAS.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATM	Asynchronous Transfer Mode
BER	Bit Error Rate
DML	Device Management Layer
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
OSPF	Open Shortest Path First
PIM-SM	Protocol Independent Multicast-Sparse Mode
RIP	Routing Information Protocol
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SSM	Source Specific Multicast
SONET	Synchronous Optical Network
TCP	Transmission Control Protocol
VOIP	Voice over IP
WAN	Wide Area Network
WEB	Rede Mundial de Computadores
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Consumo do tráfego global (CISCO, 2008).....	12
Figura 3.1: Modelo de testes para a RFC 2544.....	16
Figura 3.2: Efeito do Jitter para as Aplicações.	19
Figura 3.3: Modelo para teste de congestionamento.	24
Figura 3.4: Modelo para teste de filtro de quadros com erro.	25
Figura 3.5: Modelo para teste de entrelaçamento total.	26
Figura 3.6: Modelo de testes para a RFC 3918.....	28
Figura 4.1: Modelo de testes para serviços de QoS.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Variações de fase para níveis de serviço	14
Tabela 3.1: Vazão máxima para diferentes tamanhos de pacotes.....	17
Tabela 3.2: Vazão típica de algumas aplicações	18
Tabela 4.1: Parâmetros de tráfego para classes de serviço	34
Tabela 4.2: Métricas de avaliação para diferentes camadas de rede	38

RESUMO

O respectivo trabalho apresenta métodos de avaliação sobre a implementação de Qualidade de Serviço (QoS) em redes IP através de métricas de desempenho. A intenção é determinar quais técnicas e referências deverão ser usadas para validação de equipamentos ou dispositivos que recebem tráfego diferenciado.

Para isso, serão expressas metodologias embasadas nas RFCs 2544, 2889 e 3918, de forma a garantir métricas que respeitem as normas definidas pela IETF. O estudo considera ainda a avaliação de Qualidade de Serviço para diferentes camadas de rede e a indicação de métricas de avaliação por Fluxo de Dados (Per-flow).

Palavras-Chave: QoS, Qualidade de Serviço, métricas de desempenho, IETF.

Metrics to Evaluate Performance QoS over IP Networks

ABSTRACT

Their work presents methods of evaluation on the implementation of Quality of Service (QoS) in IP networks through performance metrics. The intention is to determine which techniques and references should be used for validation of equipment or devices that receive traffic differently.

This will expressed methodologies based on RFC 2544, 2889 and 3918, to ensure metrics that meet the standards set by the IETF. The study also considers the assessment of service quality for different layers of network and an indication of metrics for evaluation by Per-flow.

Keywords: QoS, Quality of Service, performance metrics, IETF.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de, cada vez mais, melhorarmos a forma como os dados são encaminhados nas redes convencionais e de telecomunicações não é nova. As redes que foram construídas em todo o mundo, entretanto, eram modeladas para transportar somente um tipo de tráfego: voz. A rede de telefonia é a maior máquina no mundo, com muitos milhões de interconexões. Até há pouco tempo, essa rede atendeu bem ao seu propósito e, somente com o enorme aumento da necessidade de transportar dados, impulsionado em sua maior parte pela Internet, houve uma real necessidade de mudança (BURGESS, 2004).

Anteriormente, o tráfego de pacotes era transmitido pela rede de telecomunicações de forma “semelhante” ao tráfego de voz, pelo uso de um modem ou, em conexões com maior largura de banda, pelo empacotamento dos dados de uma maneira que se moldassem na estrutura de canais-padrão de 56/64 kbit/s das redes de telecomunicações. Entretanto, como a quantidade de tráfego de dados na rede continuou a crescer, foi necessário encontrar outros métodos de se transportar o novo tráfego, que tivessem um uso mais eficiente da largura de banda e que fossem menos complexas e de menor custo.

Há várias maneiras para lidar com esse aumento no tráfego de dados. As diversas abordagens têm as suas vantagens e desvantagens. Por exemplo, uma opção é construir uma rede somente de dados completamente nova. A maior desvantagem dessa abordagem, e da maior parte das outras opções, é o grande investimento de capital necessário. Por esse motivo, a maior parte das operadoras de rede está unindo os serviços de dados às suas redes existentes, e eles estão fazendo isso utilizando a “nova geração” de elementos de rede SONET/SDH.

Estes novos elementos de rede transportam todos os serviços tradicionais em PDH e SDH, e também possibilitam o transporte dos serviços de dados em seu formato nativo, Ethernet, por exemplo. Isso reduz a complexidade da rede para o cliente e a operadora, o que leva a um menor custo global e um uso mais eficiente da largura de banda (BURGESS, 2004).

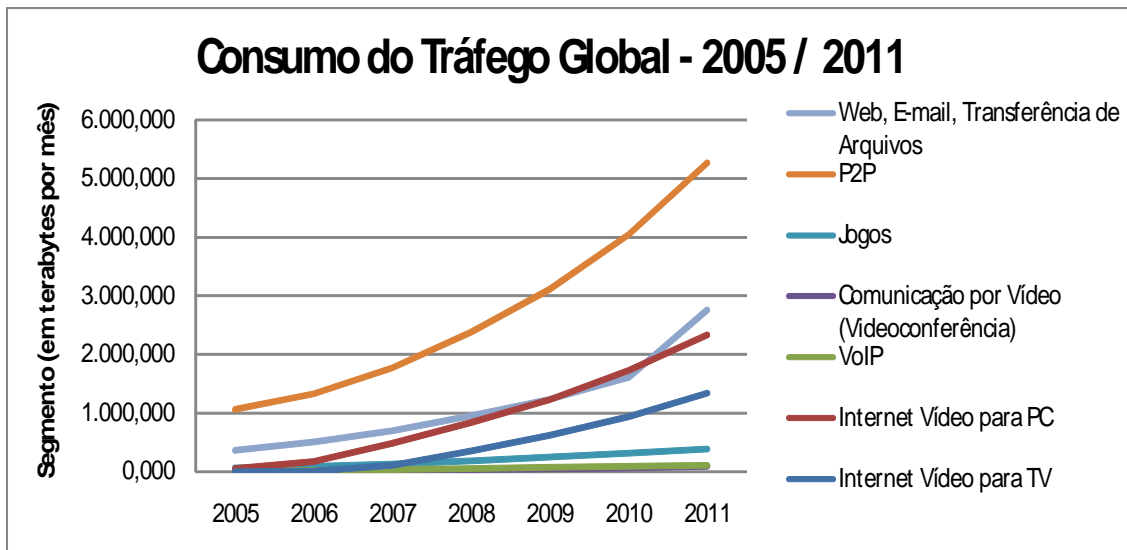


Figura 1.1: Consumo do tráfego global (CISCO, 2008).

1.1 Métricas de Desempenho em Redes de Computadores

Sempre que uma rede é estruturada, uma das principais dificuldades encontradas é o atendimento das características de desempenho desejadas. Uma vez que o projeto é testado, pode ser essencial a realização de testes probatórios de qualidade. Muitas vezes, os engenheiros precisam analisar determinados cenários de operação, mais críticos, e observar se os resultados obtidos atendem às métricas desejadas ou são compatíveis com as validações realizadas. Estes testes podem ser utilizados para avaliar desde grandes estruturas de rede até dispositivos individuais.

Por padrão, os testes de desempenho são executados com a injeção de um determinado tráfego na rede e, por consequência, a análise da resposta da rede a este tráfego. O método de geração deste tráfego pode ser simples ou obedecer a padrões complexos. Vários aspectos de desempenho podem ser observados, como a taxa de transmissão máxima suportada, o tempo que um quadro levou em trânsito, ou quanto tempo a rede necessita para se recuperar de uma falha.

1.2 Contratos de Nível de Serviço

Conforme BURGESS-2004, os serviços Ethernet são firmados sob Contratos de Nível de Serviço (Services Level Agreement – SLA) estabelecidos com os clientes. Muitas vezes, as questões de Qualidade de Serviço (QoS) são abordadas, e esse é um dos tópicos mais discutidos atualmente na indústria de serviços Ethernet.

Há três fatores principais envolvidos na determinação de qual o tipo de serviço a ser disponibilizado: largura de banda, atraso e perda de dados.

A largura de banda é um fator fundamental, pois cada vez mais são exigidas e contratadas maiores velocidades fim a fim. A transferência de dados, e-mail,

seminários e discussões pela Web, além de voz sobre IP, estão exigindo mais largura de banda dos provedores de serviços. Para poder prestar suporte a estes serviços, a largura de banda contratada é normalmente estabelecida no SLA e comumente exige-se uma prova de que a conexão fornecida pelo provedor de serviços fornecera o valor acordado.

O atraso é outro fator de suma importância em um SLA, especialmente quando serviços em tempo real estão sendo usados. Estes serviços podem compreender seminários e palestras pela Web e voz sobre IP (VoIP). Tempos de atraso longos na rede podem fazer com que esses serviços sejam paralisados ou tenham sua qualidade reduzida. Quando o utilizando um serviço VoIP, tempos longos de atrasos podem interferir significativamente em uma conversa telefônica normal, o que é inaceitável para o usuário final. Outro fator limitante que está relacionado com o atraso é o grau de variação do mesmo. Se o atraso for razoavelmente pequeno, mas tiver uma variação considerável durante a transmissão, haverá problemas no uso de serviços em tempo real.

A perda de dados é obviamente mal vista em qualquer rede. O provedor de serviços precisará ter certeza de que o serviço Ethernet que está sendo fornecido não perderá quadros quando estes forem transmitidos pela rede.

2 TESTE DE SERVIÇOS ETHERNET

Ethernet é um protocolo assíncrono embasado em quadros, primordialmente destinado a fornecer um meio de comunicação entre mais de dois dispositivos de dados, utilizando uma mídia compartilhada. A Ethernet, definida pela norma IEEE 802.3 (2000), foi modificando-se e desenvolvendo-se ao longo do tempo, crescendo em sua velocidade e permitindo o uso de transmissão Full Duplex¹ em vez da mídia compartilhada (BURGESS, 2004).

É crescente a utilização do protocolo Ethernet em aplicações de redes de computadores e de telecomunicações. Por exemplo, as redes virtuais disponibilizam a um cliente residencial ou corporativo uma sensação de possuir uma rede singular e privada.

O crescente aumento da utilização desta tecnologia, com voz e vídeo, acarretou um decréscimo na qualidade da transmissão de dados. Com isso, conexões Ethernet devem ser testadas para que se possa garantir que elas estão operando corretamente e no nível de desempenho necessário. Por padrão, devem ser executados testes da largura de banda, o atraso e a perda de quadros na conexão. Em Ethernet, estas análises são denominadas vazão (Throughput), latência e perda de quadros. A tabela 2.1 indica os aspectos que devem ser levados em consideração na avaliação de serviços Ethernet:

Tabela 2.1: Variações de fase para níveis de serviço²

	Telefonia	Download	TV	Vídeoconferência
Latência	Sensível	Insensível	Insensível	Sensível
Jitter	Sensível	Insensível	Sensível	Sensível
Skew	-	Insensível	Sensível	Sensível
Velocidade	Baixa	Depende	Alta	Alta

Fonte: TAROUCO, 2003. p. 82.

O cliente poderá, caso considere necessário, testar se certos parâmetros de qualidade estão sendo respeitados. Para isso, devem ser utilizadas métricas baseadas em normas que servem como consenso tanto para o usuário final quanto para a entidade que disponibiliza o serviço.

¹ Full Duplex: Quando temos um dispositivo Transmissor e outro Receptor, sendo que os dois podem transmitir dados simultaneamente em ambos os sentidos (a transmissão é bidirecional).

² Skew: Fenômeno em que o sinal do relógio de circuitos síncronos (enviados a partir do relógio do circuito) chega com tempos diferentes em diferentes componentes.

3 BENCHMARKING

Benchmarking é o processo de comparação entre dois ou mais sistemas através de medições. Esta avaliação permite medir o desempenho de um sistema (ou subsistema), quando realizando uma tarefa ou conjunto de tarefas bem definidas (CECHIN, 2005).

A normatização dos Benchmarks para avaliação de desempenho em redes de computadores deve estar baseada nas metodologias definidas pela IETF³, que descrevem cada protocolo da Internet antes de serem considerados um padrão. Estas metodologias são usualmente publicadas em documentos denominados RFCs que se referem a normas padronizadas, onde estão descritos os protocolos, serviços e recomendações operacionais referentes à operações na Internet.

O resultado de cada avaliação deve ser representado em forma de gráfico, onde a coordenada “x” deve conter o tamanho do quadro e a coordenada “y” deve fornecer o resultado dos testes. Deve haver pelo menos duas linhas para cada gráfico, uma teórica e outra com os resultados dos testes (MELO, 2001).

3.1 RFC 2544

Conforme Cechin (2005), o RFC 2544 descreve testes que podem ser usados para descrever as características de desempenho de dispositivos de rede e a forma como os resultados devem ser apresentados. O respectivo documento possui embasamento na RFC 1242, que introduz as terminologias para interconexão de dispositivos de rede.

A RFC 2544 define que sejam utilizados para teste quadros com vários tamanhos (64, 128, 256, 512, 1024, 1280 e 1518 bytes) e que sejam enviados por um determinado intervalo de tempo e por um número definido de vezes. Isso porque todos esses tamanhos de quadro poderão ser usados na rede e, desta forma, é necessário verificar os resultados de cada um deles (BURGESS, 2004).

³ IETF: Comunidade internacional ampla e aberta (técnicos, agências, fabricantes, fornecedores, pesquisadores) preocupada com a evolução da arquitetura da Internet e seu perfeito funcionamento.

Os testes mencionados na RFC 2544 são definidos por vazão, latência, perda de quadros e análise fim-a-fim (back-to-back). O teste tráfego de quadros entre equipamentos trata de enviar ao DUT⁴ um Burst⁵ com espaços mínimos entre quadros e contar o número de quadros que forem encaminhados pelo DUT. Se o número de quadros encaminhados for igual ao número de quadros transmitidos, o comprimento do Burst será aumentado e o teste será executado novamente. Se o número de quadros encaminhados for menor do que o número transmitido, o comprimento do Burst será reduzido e o teste será executado novamente. O valor fim-a-fim será o número de quadros do Burst mais longo que o DUT consegue tratar sem perder nenhum quadro (BRADNER, 2004).

A figura 3.1 define um típico modelo de testes projetado para atender os critérios de análise da RFC 2544:

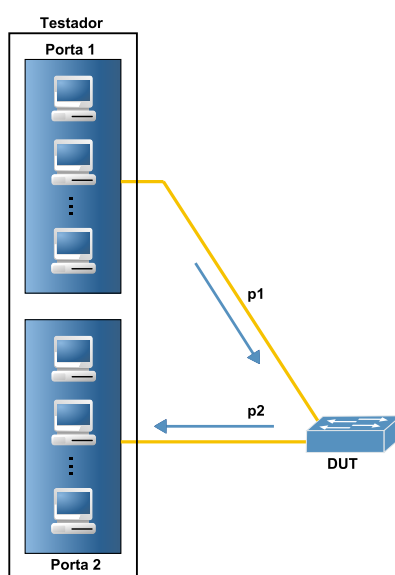


Figura 3.1: Modelo de testes para a RFC 2544.

O teste embasado na RFC 2544 recomenda que os resultados de todos estes testes sejam apresentados nos formatos de texto e gráfico. Os resultados poderão então fornecer dados concretos de desempenho para o provedor de serviço e o cliente.

3.1.1 Taxa de Transferência (Vazão)

Em geral, o conceito de desempenho da rede é associado à sua velocidade. A vazão de dados expressa a quantidade máxima de dados que pode ser transportada de uma origem até o seu respectivo destino. Entretanto, a definição e medição da vazão são complicadas pela necessidade de definir-se um nível aceitável de qualidade. Por exemplo, se for considerado que é aceitável um número de 10% de quadros com erros ou perdidos, então a vazão é medida a uma taxa de erros de 10%. Em qualquer sistema Ethernet, a banda

⁴ DUT: Nome designado ao componente, equipamento ou sistema que deve ser testado.

⁵ Burst: Rajada de tráfego de curta duração.

passante máxima absoluta será igual à taxa de dados, por exemplo, 10 Mbit/s, 100 Mbit/s ou 1000 Mbit/s. Em termos reais, esses números não podem ser alcançados, devido aos campos adicionais para que os quadros possam ser transportados e pelo espaçamento entre quadros, necessário para o funcionamento da rede.

Os pacotes menores têm uma vazão efetiva menor do que o dos pacotes maiores, devido à inclusão dos bytes de preâmbulo e do espaço entre pacotes, que não contam como dados. A vazão máxima que pode ser obtida para os diversos tamanhos de quadro esta apresentada na tabela 3.1 (BURGESS, 2004):

Tabela 3.1: Vazão máxima para diferentes tamanhos de pacotes

Sistema de 10 Mbit/s

Tamanho do Quadro	Vazão de Dados	Preâmbulo e IGP	Quadros por Segundo
64 bytes	7,62 Mbit/s	2,38 Mbit/s	14,88
128 bytes	8,65 Mbit/s	1,35 Mbit/s	8,45
256 bytes	9,28 Mbit/s	0,72 Mbit/s	4,53
512 bytes	9,62 Mbit/s	0,38 Mbit/s	2,35
1024 bytes	9,81 Mbit/s	0,19 Mbit/s	1,20
1280 bytes	9,85 Mbit/s	0,15 Mbit/s	0,96
1518 bytes	9,87 Mbit/s	0,13 Mbit/s	0,81
1522 bytes	9,87 Mbit/s	0,13 Mbit/s	0,81

Sistema de 100 Mbit/s

Tamanho do Quadro	Vazão de Dados	Preâmbulo e IGP	Quadros por Segundo
64 bytes	76,19 Mbit/s	23,81 Mbit/s	148,81
128 bytes	86,49 Mbit/s	13,51 Mbit/s	84,46
256 bytes	92,75 Mbit/s	7,25 Mbit/s	45,29
512 bytes	96,24 Mbit/s	3,76 Mbit/s	23,50
1024 bytes	98,08 Mbit/s	1,92 Mbit/s	11,97
1280 bytes	98,46 Mbit/s	1,54 Mbit/s	9,62
1518 bytes	98,70 Mbit/s	1,30 Mbit/s	8,13
1522 bytes	98,70 Mbit/s	1,30 Mbit/s	8,11

Sistema de 1000 Mbit/s

Tamanho do Quadro	Vazão de Dados	Preâmbulo e IGP	Quadros por Segundo
64 bytes	761,90 Mbit/s	238,10 Mbit/s	1488,10
128 bytes	864,86 Mbit/s	135,14 Mbit/s	844,59
256 bytes	927,54 Mbit/s	72,46 Mbit/s	452,90
512 bytes	962,41 Mbit/s	37,59 Mbit/s	234,96
1024 bytes	980,84 Mbit/s	19,16 Mbit/s	119,73
1280 bytes	984,62 Mbit/s	15,38 Mbit/s	96,15
1518 bytes	987,00 Mbit/s	13,00 Mbit/s	81,27
1522 bytes	987,03 Mbit/s	12,97 Mbit/s	81,06

Fonte: BURGESS, 2004. p. 05.

O cálculo da taxa de bits pode ser expresso por (em Mbits/s):

$$\text{taxa_bits} = (\text{frame_len} / (\text{preamb} + \text{frame_len} + \text{igp})) * 100$$

Para um dado tamanho de frame e uma dada taxa de bits, pode-se obter o IGP a partir de:

$$igp = ((frame_len * 100) / taxa_bits) - preamb - frame_len$$

A largura de banda expressa a maior capacidade que pode ser obtida através da transferência. A vazão representa a taxa na qual a informação trafega nivelado pelo menor valor de transferência. A tabela 3.2 apresenta os valores indicados para cada tipo de aplicação no serviço Ethernet:

Tabela 3.2: Vazão típica de algumas aplicações

Aplicação	Vazão
Aplicações Transacionais	1 Kbps a 50 Kbps
Quadro Branco (Whiteboard)	10 Kbps a 100 Kbps
Voz	10 Kbps a 120 Kbps
Aplicações Web (WWW)	10 Kbps a 500 Kbps
Transferência de Arquivos (Grandes)	10 Kbps a 1 Mbps
Vídeo (Streaming)	100 Kbps a 1 Mbps
Videoconferência	500 Kbps a 1 Mbps
Vídeo MPEG	1 Mbps a 10 Mbps
Aplicação para Imagens Médicas	10 Mbps a 100 Mbps
Aplicação para Realidade Virtual	80 Mbps a 150 Mbps

Fonte: MONTEIRO, 2003. p. 16.

A vazão é uma das métricas mais importantes quando se avalia qualidade de serviço de uma rede e é necessária para a operação correta de qualquer aplicação. Em termos práticos as aplicações geram vazões que devem ser atendidas pela rede.

3.1.2 Latência

Latência é o tempo total gasto por um quadro desde a origem até o destino. Esse tempo absoluto é a soma dos atrasos do processamento nos elementos da rede e o atraso de propagação ao longo do meio de transmissão (BURGESS, 2004).

Para medir a latência, um quadro de teste contendo uma marca de tempo (timestamp) é transmitido pela rede. A marca de tempo é então analisada quando o quadro é recebido. Para que isso ocorra, o quadro de teste precisa voltar ao testador original por um laço de retorno (atraso de ida e volta). Uma grande latência não indica que ocorrerá degradação da voz, o que pode ocorrer é uma perda de sincronização.

Por exemplo, para que se obtenha uma boa qualidade em conexões telefônicas, a latência deve possuir um valor abaixo do patamar de 150 ms. Para que isso ocorra, devem ser tomadas algumas medidas de forma a estabelecer as alterações que deverão ser tomadas para que ocorra a diminuição do tempo de empacotamento, transmissão e transporte dos dados.

3.1.3 Variação de Latência (Jitter)

A variação de tempo entre chegadas de pacotes do endereço de origem caracteriza-se como Jitter. Caso ocorresse uma taxa de transmissão constante com intervalo de 20 ms ente cada transmissão de um pacote e outro, tais pacotes deveriam chegar ao destino com intervalo de 20 ms. Entretanto, como

cada pacote pode trafegar na rede por diferentes rotas e diferentes meios, esse tempo de chegada pode variar, fato este que diminuiria a qualidade do serviço.

O Jitter, por exemplo, pode resultar em intervalos de tempo vazios dentro de um Burst de voz, de forma que a diminuição, ou até mesmo a perda destes intervalos, resultaria na falta de interpretação da informação no destino. Um valor máximo tolerado, sem que haja comprometimento da qualidade de voz, calculado segundo uma média Gaussiana⁶, considera que os valores devem ser menores do que 225 ms.

A figura 3.2 demonstra o efeito do jitter entre o envio de pacotes na origem e o seu processamento no destino. O jitter causa não somente uma entrega com periodicidade variável (Variação de Pacotes por Atraso), como também a entrega de pacotes fora de ordem:

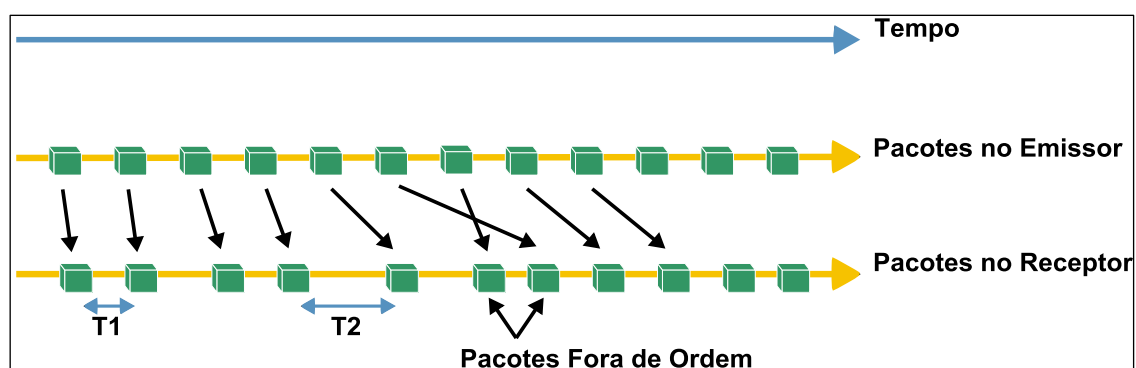


Figura 3.2: Efeito do Jitter para as Aplicações.

Inicialmente, o problema dos pacotes desordenados poderia ser resolvido com o auxílio de um protocolo de transporte como o TCP (Transmission Control Protocol) que verifica o seqüenciamento das mensagens e faz as devidas correções. Entretanto, na prática a grande maioria das aplicações de multimídia optam por utilizar o UDP (User Datagram Protocol) ao invés do TCP pela maior simplicidade e menor sobrecarga deste protocolo. Além disso, muitas estruturas de rede para telecomunicação possuem um desordenamento natural de pacotes, como por exemplo, multiplexadores PDH 16E1/4E1 que fazem interação com interfaces Ethernet. Nestes casos, o problema de subsequenciamento deve ser resolvido por protocolos de mais alto nível normalmente incorporados à aplicação como, por exemplo, o RTP (Real Time Transfer Protocol) ou utilizando técnicas de reordenamento de pacotes em nível de lógica.

O jitter insere variação no processamento da informação na recepção e deve ter controles específicos de compensação e métodos que dependem da aplicação em questão. Em geral, uma das soluções mais comuns para o problema consiste na utilização de Buffers⁷.

⁶ Gaussiana ou Distribuição Normal: Descreve uma série de fenômenos físicos e financeiros, possui grande uso na estatística de inferência. É inteiramente descrita por seus parâmetros de média e desvio padrão, ou seja, conhecendo-se estes se consegue determinar qualquer probabilidade em uma Normal.

⁷ Buffer: Região de memória temporária utilizada para escrita e leitura de dados. Os dados podem ser originados de dispositivos (ou processos) externos ou internos ao sistema.

3.1.4 Perda de Quadros

A perda de quadros analisa o número de quadros que foram transmitidos pelo transmissor e que nunca foram recebidos em seu destino. É normalmente chamada de taxa de perda de quadros, sendo expressa como uma porcentagem do número total de quadros transmitidos. Por exemplo, se 1000 quadros foram transmitidos, mas somente 900 recebidos, a taxa de perda de quadros seria $(1000-900) / 1000 \times 100\% = 10\%$. Os quadros podem ser perdidos ou descartados por várias razões, incluindo erros, assinatura excessiva e atraso excessivo (BURGESS, 2004).

A perda de quadros é outro item crítico que implica de forma direta na qualidade de serviço. Pacotes perdidos em aplicações que utilizam o protocolo UDP e RTP não podem ser retransmitidos e mesmo que pudessem não seria nada interessante já que duas mensagens enviadas em seqüência poderiam chegar em ordem inversa, o que não é tolerável em aplicações de tempo-real.

3.1.5 Erros

A maioria dos dispositivos da camada 2 descartará um quadro que tiver o valor de verificação do quadro incorreto (FCS – Frame Check Sequence). Isso significa que um único erro de bit na transmissão fará com que todo o quadro seja descartado. Esse é um dos motivos que faz com que o BER, que é a medida mais fundamental em um serviço SONET/SDH, não tenha significado em Ethernet, pois a relação entre bits corretos e incorretos não pode ser averiguada (BURGESS, 2004).

3.1.6 Sobrecarga Excessiva

O fator mais comum para a perda de quadros é a sobrecarga excessiva da largura de banda disponível. Por exemplo, se dois serviços Ethernet de 1000 Mbit/s são mapeados em um único pipe⁸ SONET/SDH de 622 Mbit/s (um cenário comum), a largura de banda será alcançada rapidamente, pois os dois serviços gigabit Ethernet estão municiados. Quando o limite for atingido, pode haver descarte de quadros (BURGESS, 2004).

3.1.7 Atraso Excessivo

O atraso na rede varia do atraso em cada nó e na quantidade de nós entre origem e destino. A natureza das redes Ethernet torna possível o atraso de quadros por períodos consideráveis de tempo. Isso é importante para a análise, pois o testador estará “esperando” que todos os quadros transmitidos sejam recebidos e contados. Em algum momento, o testador tem que decidir que o quadro transmitido não será mais recebido e contar esse quadro como perdido. O intervalo de tempo mais comum usado para tomar essa decisão é a especificação RFC de dois segundos. Assim, qualquer quadro recebido mais de dois segundos após ter sido transmitido será contado como perdido.

⁸ Pipe: Redirecionamento da saída padrão de um programa para a entrada padrão de outro.

3.1.8 Análise Fim-a-Fim (Back-to-Back)

A análise de quadros entre equipamentos envolve enviar ao equipamento testado (DUT) um Burst com espaços pequenos entre quadros e contar o número de quadros conduzidos por este. Se o número de quadros encaminhados for igual ao número de quadros transmitidos, o tamanho do Burst será aumentado e o teste será executado novamente (BURGESS, 2004).

Caso o número de quadros encaminhados for menor do que o número de quadros transmitidos, o comprimento do Burst será reduzido e o teste será executado novamente. O valor fim-a-fim será o número de quadros do Burst mais longo que o DUT consegue tratar sem perder nenhum quadro.

Conforme SOUZA (2006), atraso fim-a-fim possui componentes de natureza fixa e de natureza variável. Estes componentes são definidos como:

- Atraso de Propagação: Este atraso é diretamente relacionado com o tempo de propagação do sinal no meio de transmissão, sendo este, função da velocidade da luz no meio. O atraso de propagação depende do tipo de meio, da distancia percorrida e é considerado atraso fixo;
- Atraso de Empacotamento: Tempo necessário para se gerar um número suficiente de quadros de voz para preencher o payload do pacote IP. Para que esse atraso não atinja valores muito altos, os pacotes enviados podem conter somente um quadro, porém, isto reduz a eficiência do sistema;
- Atraso nos Nós da Rede: O atraso de enfileiramento é o principal atraso que os pacotes sofrem dentro da rede. Este atraso é composto de duas parcelas: uma fixa, referente ao tempo de transmissão do pacote, e outra variável, correspondente ao tempo de espera na fila até que o pacote seja atendido. Este atraso é responsável pela aleatoriedade do atraso total ao qual o pacote é exposto, assumindo valores inaceitáveis quando a rede estiver congestionada;
- Atraso devido ao “Dejitter Buffer”: O jitter é introduzido no sistema através do comportamento aleatório do tempo de enfileiramento dos pacotes nos roteadores. Uma das soluções que podem ser usadas para compensar esta variação é a introdução de Buffers (“Dejitter Buffers”), com a função de armazenar os pacotes que chegam com atraso variável e entregá-los ao receptor. Se a variação do atraso for muito alta, o atraso adicional necessário para compensar a variação pode resultar em um atraso fim-a-fim inaceitável. É definido, então, um valor máximo de atraso aceitável para o “Dejitter Buffer”. Qualquer pacote que chegar após esse tempo será descartado.

O alcance máximo de atraso fim-a-fim é firmado em 300 ms pela recomendação G.114. Sendo esse valor um limite máximo, isto quer dizer que acima desse valor a qualidade da transmissão se torna inaceitável. O limite

confortável é estabelecido em 150 ms. Atrasos entre esses dois valores delimitam uma região de qualidade marginal, que pode ser aceitável para algumas aplicações de voz.

3.1.9 Largura de Banda

A largura de banda para a transmissão de voz depende de vários fatores e pode ser calculada com facilidade de acordo com informações de diagnóstico, quantização da voz, algoritmos de compressão, etc.

Além da transmissão de voz, as redes também são usadas com outras finalidades. Como a transmissão de voz em uma conversação telefônica deve ocorrer em tempo real, tais dados devem possuir uma prioridade em relação a outros dados com menor importância.

Obviamente, a decisão de se usar uma largura de banda maior ou menor deve ser tomada conforme as necessidades e prioridades da rede. Vale ressaltar que uma banda muito estreita para a transmissão de voz influencia negativamente na qualidade do serviço.

3.2 RFC 2889

A RFC 2889 fornece uma metodologia para avaliação de dispositivos para redes LAN (Local Area Network). Ela estende a metodologia da RFC 2544, definida para a análise comparativa de redes interligando dispositivos, visando a análise de Switches e Roteadores (MANDEVILLE, 2000).

Esta RFC define parâmetros para dispositivos que alteraram os quadros da camada MAC (Controle de Acesso ao Meio). A RFC 2889 fornece uma metodologia para avaliação comparativa de Switches⁹, analisando o desempenho, o controle de congestionamento, a latência, a manipulação e a filtragem de endereços. Além de apresentar testes já definidos, a respectiva RFC também descreve formatos específicos para a comunicação dos resultados do testes.

Enquanto a RFC 2544 foi escrita como uma metodologia geral para todos os tipos de dispositivos de rede, a RFC 2889 foi escrita para abranger técnicas de avaliação de desempenho de equipamentos que desempenham tarefas de controle da Qualidade de Serviço (QoS).

3.2.1 Tamanho do Cachê de Endereçamento (Memory Fault)

Analisa a capacidade de armazenamento de endereços para cada porta testada. Os quadros são transmitidos a uma taxa determinada de modo que seja verificado se o DUT aprendeu corretamente todos os endereços. A finalidade do teste é verificar o número máximo de endereços MAC suportados pelo DUT.

⁹ Switches: Comutador. Dispositivo usado para conectar e distribuir comunicações entre uma linha de tronco ou Backbone, e nós individuais.

Se existe um endereço para ser atualizado na tabela, então o teste deve ser executado em uma porta que transmita para todas as demais portas do receptor. Caso exista uma tabela de endereçamento em cada porta, então o ensaio deve ser executado para cada porta.

Este teste é executado com um mapeamento de tráfego “Um para Muitos”. Os resultados do teste devem mostrar o tamanho da memória obtida para cada tamanho de quadro. Este teste exige, no mínimo, três portas.

3.2.2 Taxa de Endereçamento

Este teste é muito parecido com o teste de vazão da RFC2544. Em cada ensaio, quadros com múltiplos endereços baseados numa especificação de tamanho inicial são transmitidos a uma taxa especificada pelo usuário. O número de quadros recebidos em cada porta é contado e a taxa de recepção é calculada (MANDEVILLE, 2000).

Este teste usa um mapeamento de tráfego “Um para Muitos”, mas apenas uma porta é usada para transmissão de uma só vez. Os resultados do teste devem mostrar as taxas obtidas para cada tamanho de quadro.

3.2.3 Taxa de Broadcast

Especifica a taxa máxima com que o DUT recebe e encaminha quadros de Broadcast¹⁰ sem perda. Quadros são inicialmente enviados com uma taxa especificada pelo usuário. Geralmente é utilizada a taxa máxima teórica da porta.

Este teste é configurado com um mapeamento de tráfego “Um para Muitos”, mas apenas uma porta por vez é usada para a transmissão. Os resultados do teste devem mostrar as taxas obtidas para cada tamanho de quadro.

3.2.4 Congestionamento

Determina o controle de congestionamento exercido quando múltiplas portas estão transmitindo em uma única porta, o que deve causar a sobrecarga do meio. A figura 3.3 apresenta uma estrutura básica sobre a análise de congestionamento.

Este teste é configurado para um mapeamento de tráfego “Muitos para Um”. O resultado do teste deve determinar o número de quadros recebidos, o número de colisões e o número de pacotes perdidos e recebidos para cada tamanho de quadro.

¹⁰ Broadcast: É o processo pelo qual se transmite ou difunde determinada informação, tendo como principal característica que a mesma informação está sendo enviada para muitos receptores ao mesmo tempo.

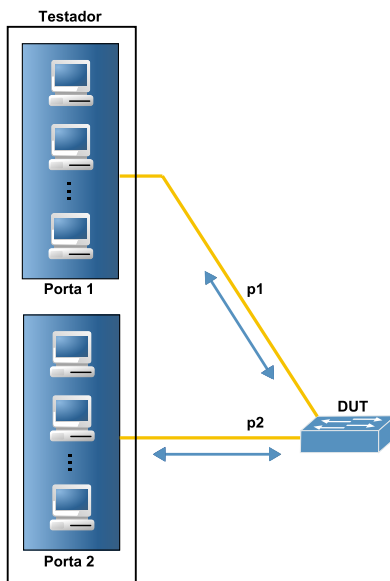


Figura 3.3: Modelo para teste de congestionamento.

3.2.5 Bloqueio de Entrada Principal

Determina o atraso adicionado em uma interface de saída não saturada, quando os quadros são recebidos de uma interface de entrada, que também esta tentando transmitir quadros para uma interface de saída congestionada.

A configuração mínima é de duas portas, “A” e “B”, transmitindo para uma terceira porta, “C”, gerando o congestionamento da interface enquanto a porta “A” também transmite para a porta “D” de forma inconsistente. O resultado do teste deve mostrar o número de quadros recebidos, o número de colisões e os pacotes perdidos e obtidos para cada tamanho de quadro.

3.2.6 Filtro de Quadros com Erro

Determina se o DUT aplica o filtro de quadros corretamente para alguns tipos de erros como quadros não reconhecidos, quadros com tamanho desproporcional, erros de CRC, fragmentação e erros de alinhamento. Este teste é configurado com um mapeamento de tráfego “Um para Muitos”. A figura 3.4 faz uma representação sobre a análise de filtro de quadros com erro:

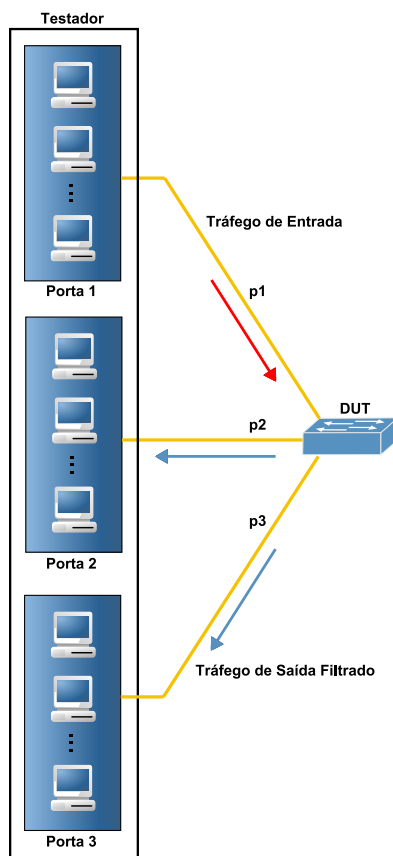


Figura 3.4: Modelo para teste de filtro de quadros com erro.

Os resultados do teste devem determinar o tipo de erro de transmissão, o número de quadros transmitidos, o “Interframe Gap¹¹” e o número de erro nos pacotes para cada tamanho de quadro (STOPP_2, 2008).

3.2.7 Entrelaçamento Total (Fully Meshed)

Especifica o número total de quadros suportados pelo DUT durante tráfego de todas as portas em teste. Para este ensaio, todas as portas devem transmitir e receber o tráfego a uma taxa específica onde cada uma das interfaces do DUT possa transmitir e receber quadros a partir de todas as outras interfaces sob teste. Além disso, em cada porta são enviados quadros para todas as demais portas de forma uniforme e distribuída (Round-robin¹²).

A figura 3.5 faz uma representação da análise de entrelaçamento total:

¹¹ Interframe Gap: Dispositivos Ethernet devem permitir um período ocioso mínimo entre a transmissão de quadros Ethernet conhecido como “Interframe Gap”.

¹² Round-robin: Algoritmo usado em projetos de sistemas operacionais multitarefa, e foi projetado especialmente para sistemas time-sharing, pois este algoritmo depende de um temporizador.

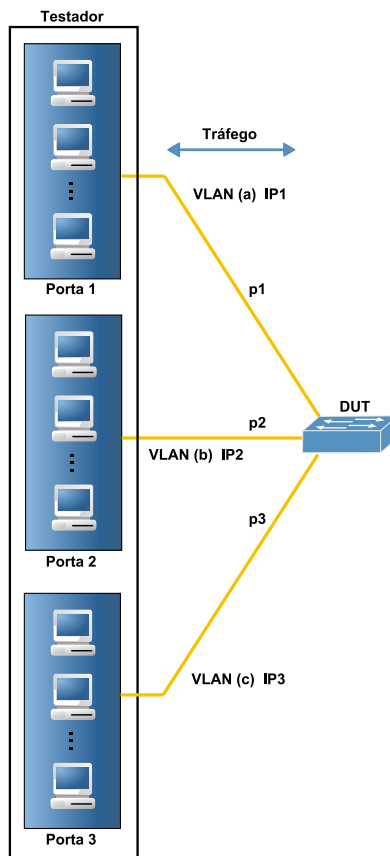


Figura 3.5: Modelo para teste de entrelaçamento total.

Os resultados do teste devem determinar o número total de quadros transmitidos a partir de todas as portas, o número total de quadros recebidos em todas as portas, bem como o percentual de perda de pacotes para cada tamanho de quadro.

3.2.8 Muitos para Muitos Entrelaçamentos (Many to Many Mesh)

Determina o número total de quadros perdidos durante transmissão em todas as portas e o número total de quadros recebidos em todas as portas. Existem dois tipos de testes disponíveis: Round-robin e Peak-load¹³ (pico de carga). Assume-se que o número de quadros que uma determinada entrada está recebendo a partir de todas as portas é o mesmo que será transmitido pela porta de entrada, ou seja, para transmitir em todas as portas deve-se transmitir de todas as entradas.

A taxa de transmissão é ajustada com base em dois parâmetros:

1. A taxa mínima em que as portas podem receber devem ser utilizadas em todas as portas de transmissão;
2. A taxa deve ser a metade do valor máximo, se a porta transmitir em modo Half-duplex¹⁴.

¹³ Peak-load: A máxima demanda de carga em um determinado período de tempo.

¹⁴ Half-duplex: Quando temos um dispositivo Transmissor e outro Receptor, sendo que ambos podem transmitir e receber dados, porém não simultaneamente, a transmissão tem sentido bidirecional.

3.2.9 Muitos para Um (Many to One)

Determina a taxa máxima em que o DUT recebe e encaminha quadros de muitas interfaces com uma interface sem qualquer perda de quadros. Apenas um grupo (contendo uma porta de recepção e múltiplas portas de transmissão) pode ser executado por vez.

Os resultados do teste devem determinar as taxas obtidas para cada tamanho de quadro.

3.2.10 Um para Muitos (One to Many)

Determina a taxa máxima em que o DUT recebe e transmite quadros de uma interface de saída para várias interfaces de recepção, sem quaisquer perda de quadros. Apenas um grupo (contendo múltiplas portas de recepção e uma porta de transmissão) pode ser executado por vez.

Os resultados do teste devem determinar as taxas obtidas para cada tamanho de quadro.

3.2.11 Entrelaçamento Parcial (Partially Meshed)

O Entrelaçamento Parcial é usado para determinar a taxa máxima do DUT, através do envio de quadros de múltiplas portas de recepção para múltiplas portas de transmissão, onde as portas de transmissão não recebem e as portas de recepção não transmitem. O teste deve utilizar um protocolo específico (Protocolo Servidor).

3.3 RFC 3918

A RFC 3918 descreve uma metodologia específica para a análise comparativa dos dispositivos de encaminhamento Multicast¹⁵ IP. Ela baseia-se em princípios estabelecidos na RFC 2544, RFC 2432 e nos esforços do Grupo de Trabalho para Metodologias por Benchmarking (Benchmarking Methodology Working Group – BMWG) (STOPP, 2004).

Um cenário típico de teste é definido através de protocolos Multicast (IGMP v1, 2, 3; PIM-SM; SSM), além do número dos grupos Multicast que deverão ser encaminhados. A figura 3.6 representa a estrutura de testes utilizada conforme RFC 3918:

¹⁵ Multicast: É a entrega da informação para múltiplos destinatários simultaneamente usando a estratégia mais eficiente onde as mensagens só passam por um nodo uma única vez e somente são duplicadas quando o nodo para os destinatários se divide em duas direções.

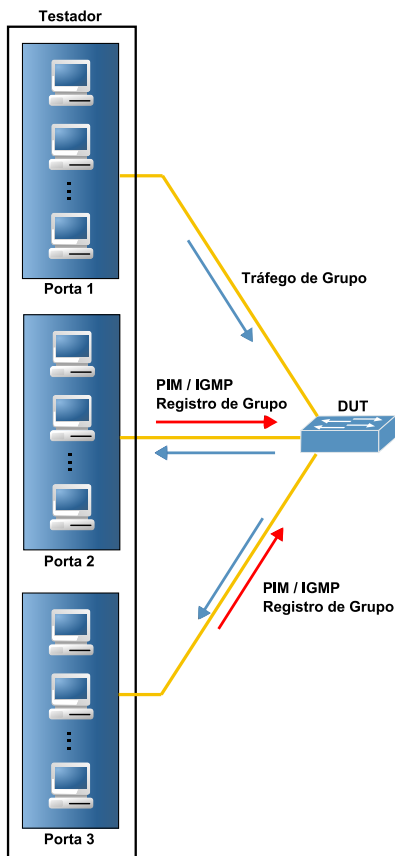


Figura 3.6: Modelo de testes para a RFC 3918.

3.3.1 Teste de Acúmulo

O ensaio de acúmulo especifica a vazão do DUT quando o cliente envia um grande número de grupos em uma determinada taxa. Este ensaio de estresse força a rápida atualização do grupo IGMP / DML na memória e, em seguida, encaminha o tráfego para todos os grupos. Os resultados devem incluir a perda de quadros por grupo.

3.3.2 Teste de Agregamento

O teste de agregamento avalia a capacidade do DUT em manter a taxa de tráfego Multicast IP constante quando temos um número fixo de clientes que aderiram ao IGMP / DML e que foram redistribuídos entre sub-redes menores.

Este teste utiliza uma estrutura de mapeamento “Um para Muitos” e requer pelo menos quatro portas sendo uma para transmitir e três para receber. Os resultados devem revelar o número de quadros perdidos e a vazão de quadros por grupo.

3.3.3 Sobrecarga de Grupo

Este ensaio determina o tempo que o DUT leva para registrar clientes Multicast para um novo grupo ou um grupo já existente na tabela de encaminhamento. Este teste utiliza dois tipos de estrutura de mapeamento sendo a primeira “Um para Muitos”, para o tráfego Multicast tal como nos

outros testes, e “Muitos para Muitos”, para o tráfego Unicast¹⁶ como sobrecarga de tráfego.

Os resultados devem indicar a recepção e transmissão de quadros por porta, o tempo que leva para um grupo ser adicionado à lista de encaminhamento e a taxa de carga.

3.3.4 Sobrecarga de Latência

Este ensaio avalia a capacidade do DUT para transmitir o tráfego Multicast com uma latência aceitável. Este teste utiliza duas estruturas de mapeamento sendo a primeira “Um para Muitos”, para o tráfego Multicast tal como nos outros testes, e o segundo “Muitos para Muitos” para o tráfego Unicast como sobrecarga de tráfego.

Os resultados devem demonstrar a perda de quadros por porta, a recepção e transmissão de tráfego por porta, a média de latência por endereço de grupo Multicast e a taxa de carga.

3.3.5 Teste de Distribuição

O teste de distribuição determina a capacidade do DUT para encaminhar o tráfego, de forma correta, para clientes Multicast numa base por fluxo de porta (Per-port).

Neste ensaio, cada porta de entrada dará entrada, IGMP / DML, a diferentes conjuntos de grupos Multicast. Os resultados devem incluir perda de quadros e vazão de quadros.

3.3.6 Teste de Capacidade do Grupo

O teste de capacidade do grupo determina o número máximo de grupos Multicast que podem ser registrados em um DUT, usando IGMP / DML, e quantos quadros Multicast podem ser transmitidos.

Este ensaio exige pelo menos duas portas, uma para transmitir e uma para receber, e usa a estrutura de tráfego “Um para Muitos”. O resultado determina o número de grupos cadastrados.

3.3.7 Teste para Atraso em Registro de Grupo

Este ensaio especifica o tempo que o DUT leva para registrar um cliente na tabela Multicast. O teste mede o tempo decorrido entre o momento em que o DUT recebe a solicitação de registro de um grupo de IGMP / DML até o tempo em que os clientes Multicast recebem a confirmação de registro no grupo.

Este teste exige no mínimo quatro portas sendo uma para transmitir, pelo menos duas portas para receber e uma porta para contagem, que permite que o teste possa derivar ao longo do tempo as informações para validação do tráfego. Os resultados devem determinar o tempo de atraso do grupo.

¹⁶ Unicast: Endereçamento para um pacote feito a um único destino, ou seja, em comparação com o Multicast, a entrega no Unicast é simples, ponto-a-ponto.

3.3.8 Teste para Atraso em Cancelamento de Grupo

O respectivo teste determina o tempo que o DUT leva para remover um cliente de uma tabela Multicast. O teste mede o tempo decorrido entre o momento em que o DUT recebe a solicitação de cancelamento de envio de tráfego para o cliente e o momento em que o cliente deixa de receber o tráfego Multicast.

Este ensaio exige no mínimo quatro portas sendo uma para transmitir, pelo menos duas portas para receber e uma porta para contagem, que permite que o teste possa derivar ao longo do tempo as informações para validação do tráfego. Os resultados devem incluir o tempo de atraso do grupo.

3.3.9 Teste de Latência

O teste de latência mede a latência média de quadros Multicast enviados para clientes em várias sub-redes (portas). O ensaio revela a quantidade de processamento por Overhead¹⁷ é exigido pelo DUT para a transmissão de quadros Multicast. Os resultados devem revelar a latência por grupo.

3.3.10 Teste de Entrelaçamento

Mede a taxa de tráfego do DUT por fluxo de tráfego (Per-port) durante recepção e o encaminhamento de quadros em todas as suas portas. Este teste é semelhante ao teste de entrelaçamento total (Fully Meshed), referenciado na RFC 2889, exceto que este teste utiliza quadros Multicast.

Este ensaio exige no mínimo três portas e a estrutura de mapeamento pode ser definida como “Muitos para muitos”. O resultado demonstra a perda de quadros.

3.3.11 Teste de Vazão por Mistura de Classes

O respectivo teste avalia a vazão do DUT quando á uma mistura de tráfego Unicast e Multicast simultaneamente em várias portas. Para o tráfego Unicast, o teste usa uma estrutura de tráfego “Um para Um” (RFC 2544). Para o tráfego Multicast, é utilizada a estrutura de tráfego “Um para Muitos” e pelo menos três portas. Os resultados incluem vazão e perda de quadros.

3.3.12 Teste de Escala de Grupo

O teste de escala de grupo determina a vazão de Multicast utilizando uma quantidade fixa de tráfego e aumento ou diminuindo o número dos grupos de Multicast.

Este ensaio utiliza uma estrutura de mapeamento “Um para muitos”, exigindo no mínimo três portas. Os resultados incluem vazão e perda de quadros.

¹⁷ Overhead: É qualquer processamento ou armazenamento em excesso, seja de tempo de computação, de memória, de largura de banda ou qualquer outro recurso que seja requerido para ser utilizado ou gasto para executar uma determinada tarefa. Como consequência pode piorar o desempenho do dispositivo que sofreu o overhead.

3.3.13 Teste para Vazão de Tunelamento

Este teste determina a vazão de Multicast quando as interfaces de um DUT ou de um conjunto de DUTs estão agindo com características de tunelamento.

Neste ensaio, o encapsulamento ou tunelamento refere-se a um pacote que contém um protocolo não suportado em um formato suportado pelo DUT. “Um para muitos”, é a estrutura de mapeamento utilizada, com um mínimo de duas portas exigidas.

3.4 Segurança

Segurança é um parâmetro que sempre deve ser considerado quando tratamos de redes, seja em aplicações de tempo-real ou não. Para se manter a integridade e a qualidade de serviço de uma rede, o acesso deve ser permitido somente a pessoas autorizadas.

Os equipamentos de voz devem trabalhar com endereços IP não válidos para que sejam evitados os ataques de DoS (Denial of Service, ou Ataque de Negação de Serviço) ocorre quando um serviço é requisitado por vários usuários, simultaneamente, e o provedor do serviço não consegue atender a demanda podendo até ficar “fora do ar”.

Como a rede utiliza o protocolo IP, existem métodos para tornar as informações mais confiáveis e menos suscetíveis a ataques através da utilização de criptografia, que já é suportada de forma nativa pela versão 6 do protocolo IP (Ipv6).

4 CARACTERÍSTICAS AVANÇADAS DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

O crescimento da rede de interconexão global Internet tem sido de grande importância para a integração das tecnologias de computação e telecomunicações. Após alguns anos, estas áreas passaram a ser de interesse estratégico para a maioria dos países industrializados e, a cada dia, fica mais difícil encontrar estas duas áreas de uma forma separada. Neste aspecto, o projeto, a instalação e o gerenciamento de redes de computadores de alta velocidade possibilitaram o aparecimento de novas aplicações distribuídas, tais como as aplicações multimídia. Estas aplicações, devido às suas fundamentações, vieram exigir de uma maneira mais contundente a aproximação destas duas áreas.

Conforme a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP), Normalmente a Internet trabalha com a filosofia do melhor esforço:

“Cada usuário compartilha largura de banda com outros e, portanto, a transmissão de seus dados concorre com as transmissões dos demais usuários” (FONSECA, 2008).

Com o advento da qualidade de serviço (quality of service – QoS), é possível oferecer maior garantia e segurança para aplicações avançadas, de forma que o tráfego destas aplicações passa a ter prioridade em relação a aplicações tradicionais.

As redes estão se tornando cada vez mais complexas, usando várias tecnologias (por exemplo, Ethernet sobre ATM, Frame Relay sobre ATM, Ethernet sobre POS), adicionando novas mídias e crescendo a centenas ou mesmo a milhares de portas. O conceito de uma rede convergente, que integra voz e dados em um único enlace como forma de reduzir de custos e aumentar a disponibilidade de serviços. Por consequência, além do aumento na movimentação de tráfego, á uma luta contra o atraso em serviços de voz e multimídia.

“A demanda do usuário em aumentar o desempenho e flexibilidade de forma a apoiar estes novos serviços, normalmente cresce mais rapidamente do que a capacidade da rede para apoiá-los” (SPIRENT, 2005).

No meio de toda esta mudança, há uma constante: IP (Internet Protocol). IP é o protocolo eleito para assumir o topo da posição nas tecnologias de rede. No entanto, a convergência das redes tem começado a demonstrar deficiências na utilização do IP. Por exemplo, o IP não é capaz de garantir características

necessárias para o correto funcionamento de serviços embasados em aplicações de voz e multimídia. Esta fragilidade tem impulsionado a necessidade de QoS sobre IP.

O IP é um protocolo “best-effort”. Isto significa que não há garantia no tempo de envio dos pacotes, na ordem em que os mesmos são recebidos, ou até mesmo se os dados que serão enviados chegarão ao seu respectivo destino. Em muitas situações, o nível de desempenho abaixo do esperado não tem sido necessariamente uma desvantagem. Isto se deve ao fato de que o atraso não influencia a aplicabilidade de serviços típicos deste tipo de rede como, por exemplo, e-mail ou transferência de arquivos. Além disso, a integridade dos dados é garantida pela camada TCP, que reordena pacotes e retransmite dados perdidos. No entanto, na rede convergente, as regras antigas já não se aplicam.

Todos os dias, operações críticas de comércio eletrônico (e-commerce), voz e vídeo conferência, e os chamados “Call Centers” são prejudicadas por pacotes perdidos, delay e variação de delay (Jitter).

Então, como podemos criar uma rede que atenda às demandas existentes no mercado tecnológico atual? Uma organização pode obter o serviço que necessita, usando a Internet?

Partindo destas premissas que começamos a analisar a melhor forma de avaliarmos o desempenho de uma rede IP QoS de forma a garantir que serviços de tráfego para missões críticas proporcionem o nível de qualidade exigido.

4.1 Qualidade de Serviço (QoS)

Em termos de rede, QoS é a capacidade de fazer com que todas as camadas de rede colaborem para proporcionar o desempenho que cada aplicação necessita de forma a satisfazer as expectativas do usuário.

QoS permite que a largura de banda seja usada de forma mais eficiente. O objetivo é proporcionar serviços de qualidade fim-a-fim para aplicações do usuário, incluindo dados, multimídia e voz.

A chave para oferecer QoS reside na capacidade da rede em fornecer banda suficiente para atender as cargas de rede prioritárias, distinguindo as diferentes aplicações ou classes de tráfego e alocando os recursos de rede requeridos para garantir a performance necessária para o tráfego. A importância da aplicação para um respectivo modelo de negócio é ditado através dos parâmetros definidos no QoS.

QoS é caracterizado por um conjunto de métricas de desempenho da rede, incluindo: Disponibilidade de Serviço, Vazão, Latência, Jitter, Perda de Pacotes

QoS é uma característica fixada em aplicações para o qual se exijam determinados parâmetros (atrasos, débitos, perdas, etc.), onde se possa determinar limites bem definidos (valor mínimo, valor máximo). QoS é garantida pela rede, através de todos os seus componentes e equipamentos utilizados. Do ponto de vista dos programas de aplicação, é tipicamente expressa e

solicitada em termos de uma “Solicitação de Serviço” ou “Contrato de Serviço” (Service Level Agreement).

Um exemplo típico de SLA para uma aplicação de voz sobre IP (VOIP) com algumas centenas de canais de voz simultâneos poderia ser: largura de banda maior ou igual a 2 Mbit/s, atraso igual ou menor que 250ms e disponibilidade maior ou igual a 99,5%.

Existem duas abordagens principais para QoS: reserva e priorização de recursos. Os recursos de reserva ou IntServ, tais como RSVP, sinalizam um protocolo que prevê a criação de um caminho fim-a-fim específico com métricas de QoS. Se este caminho não puder ser criado, a ligação será recusada.

Conforme a tabela 4.1, a priorização ou DiffServ classifica cada tipo de tráfego, de acordo com as especificações de QoS necessárias. Cada classificação é mapeada como uma espécie de comportamento denominado Per-hop (PHB), que define o modo como cada nó da rede deve tratar o pacote. Por exemplo, o tráfego pode ser diferenciado como real-time (como voz ou multimídia) e best-effort (como arquivos ou transferência de e-mail). O tráfego real-time, irá receber prioridade máxima através da rede tal como definido pelo PHB; o tráfego best-effort irá receber a prioridade mais baixa. Os nós de rede usam uma variedade de esquemas de fila, como o Weighted Fair Queuing (WFQ) e o Random Early Detection (RED), para dar prioridade a cada pacote que ele necessita (MELO, 2001).

Evidentemente, a definição de certos tráfegos com “prioridade elevada” não irá ajudar caso os dispositivos, camadas de rede e aplicações não forneçam a opção de interpretar essa informação prioritária e oferecer, a cada pacote, o desempenho que necessita.

Tabela 4.1: Parâmetros de tráfego para classes de serviço

Prioridade	Tipo de Tráfego	Aplicação Equivalente
0 (mais baixa)	Best Effort	Tráfego comum de prioridade de LAN
2	Background	Transferência de arquivos
2	Reserva	Não utilizado
3	Excellent effort	Aplicativos críticos para os usuários
4	Carga Controlada (Controlled Load)	Aplicações importantes
5	Vídeo, < 100ms latência e jitter	Aplicações de vídeo
6	Voz, < 10ms latência e wander	Aplicações de voz
7 (mais alta)	Controle de Rede	Mantém o tráfego de rede

Fonte: STOOD_1, 2005. p. 03.

QoS é subjetivo, mas pode se tornar mensurável utilizando as métricas corretas. A garantia de análises rigorosas, utilizando testes padronizados e níveis de sistema sob uma variedade de condições, garante as melhores métricas de avaliação.

4.2 Análise de Desempenho em Redes QoS sobre IP

A análise de desempenho de uma rede com QoS é necessária para garantir que tudo estará funcionando corretamente quando for necessário, que os tráfegos prioritários sejam respeitados mesmo que sob as condições mais congestionadas e que a rede não falhe sob cargas elevadas. Uma exaustiva análise de desempenho, sob todas as condições, é a única forma de garantir que uma rede irá cumprir com êxito os requisitos de QoS.

Os ensaios devem considerar tanto componentes individuais quanto componentes da rede global, a fim de garantir uma análise bem sucedida. A única maneira de julgar desempenho real da rede é colocar toda a rede ou minimamente, uma parte representativa da rede, para teste (SPIRENT, 2003).

Analisar o desempenho de uma rede significa avaliar como cada pacote se comporta diante de uma série de características de um dispositivo. É uma espécie de Benchmark que permite, a um operador de rede, executar um planejamento preventivo a fim de eliminar atrasos no sistema. Estes valores de referência fornecem ao usuário a real experiência do funcionamento de uma rede diante de um cenário "What-if" ¹⁸.

Para fornecedores de serviços e empresas, esta análise de desempenho fornece a capacidade de construir cenários que podem emular testes sobre o mais exigente ambiente de rede de alto desempenho. Isto permite a comparação entre equipamentos concorrentes, prevendo uma forma de medir o desempenho de uma rede fim-a-fim, e assegurando as previsões de QoS para novas aplicações antes de, realmente, conectar os usuários para usufruírem do novo serviço (CISCO SYSTEMS,1999).

¹⁸ WHAT-IF: Análise de estresse em dispositivos sob as máximas circunstâncias.

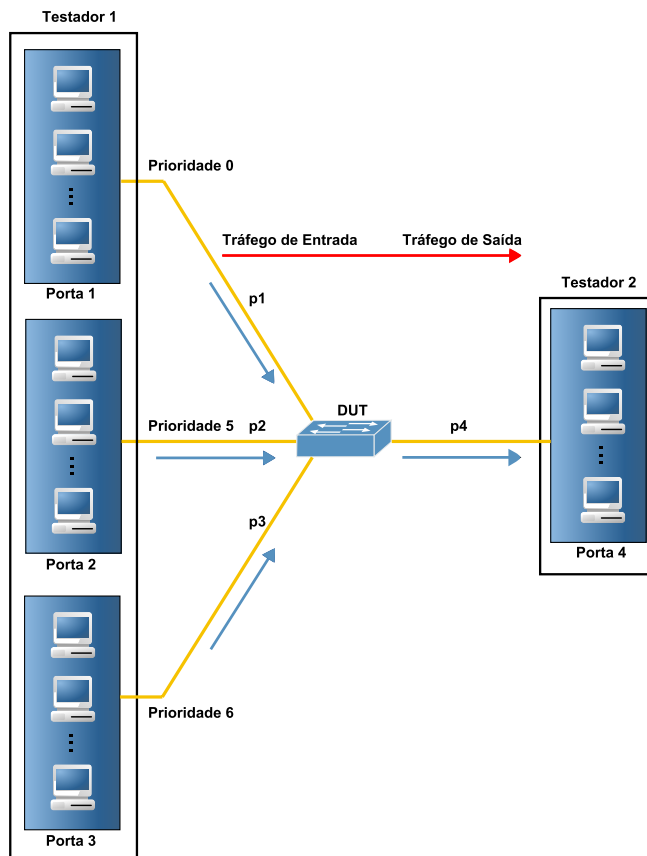


Figura 4.1: Modelo de testes para serviços de QoS.

Requisitos para a análise de desempenho da rede:

- Produzir, capturar e analisar o tráfego em pleno ritmo;
- Testar as camadas 2, 3 e 4 do modelo OSI;
- Ser determinístico, receptível e remotamente controlável;
- Abranger todos os testes mencionados nas RFCs 2544, 2889 e 3918;
- Testar várias tecnologias (LAN / WAN / ATM).

As redes não são homogêneas. Em uma rede típica, o tráfego do utilizador pode viajar pela LAN, WAN, por meio da Internet, passar por um ou mais Backbones de alta velocidade e, em seguida, voltar uma LAN. A integração de diferentes tecnologias (10/100/1000 Ethernet, ATM, Frame Relay, Sonet) apresenta uma análise complexa e desafiadora da rede.

4.3 Novas Métricas de Teste

Os ensaios de desempenho tradicionais executam medições com base no modelo de “fluxo de porta” (Per-port), que aborda as seguintes questões:

- Qual é o desempenho de cada porta?
- Qual é a vazão máxima?
- Qual é a média de Jitter?

Testes tradicionais são necessários, mas já não são suficientes para o modelo de rede atual. Para isso, os testes devem abordar fluxos individuais de tráfego e fluxos.

As redes convergentes atuais, multiplexam diferentes aplicações num só dispositivo, combinando diferentes classes de tráfego. Cada tipo de tráfego pode ter um conjunto distinto de requisitos de desempenho. Os ensaios devem simular diferentes tipos de tráfego determinando o impacto que este possui sobre o desempenho da rede e determinar a capacidade da rede para lidar com um alto fluxo de dados (SPIRENT, 2003).

Atualmente, o fluxo de dados atual não pode ser testado em uma base por fluxo de porta (Per-port). Para determinar o verdadeiro QoS, deve-se abordar os seguintes parâmetros:

- Todas as camadas de rede;
- Fluxos individuais e fluxos IP;
- A transição entre as tecnologias de rede.

Os operadores de rede necessitam de uma ferramenta que aborde um complexo conjunto de métodos de otimização e priorização que trabalhe em todas as camadas de rede. Esta ferramenta deverá ter a capacidade de medir:

- Rede Local Virtual (VLAN), Tipos de Serviço IP (TOS), DiffServ, Multiprotocol Label Switching (MPLS), voz e multimídia;
- Chamadas e conexões (Funções de Sinalização);
- Aplicações de rede;
- Transição de dados entre diferentes tecnologias.

4.4 Teste sobre Camadas

A otimização do tráfego pode ser analisada conforme modelo de camadas, através dos seguintes conceitos:

- Camada 2 (Data Link): IEEE 802.1Q (Virtual LAN) e 802.1p;
- Camada 3 (Rede): DiffServ, TOS, MPLS RSVP;
- Camada 4 (Transporte): Otimizar o tráfego com base em vários critérios, incluindo TCP ou UDP;

Na camada 2, os testes sobre 802.1p e 802.1Q possuem embasamento sobre a tag de VLAN do frame Ethernet. Na camada 3, verifica-se o correto funcionamento dos diferentes métodos de otimização (DiffServ e TOS, VLAN baseada em sub-rede ou endereço IP) e protocolos RSVP e até mesmo MPLS. Já para a camada 4, deve-se utilizar medidas baseadas na priorização de portas UDP ou TCP (por exemplo, FTP, TELNET e fluxos de tráfego http) (SPIRENT, 2003).

Para garantir QoS, importantes fatores devem ser levados em consideração: A verificação das capacidades da rede; o comportamento do tráfego IP Multicast; o desempenho do firewall sob altas cargas; a movimentação de cargas com base em redes virtuais privadas (VPN); eficiência e a proteção contra condições extremas.

Conforme a tabela 4.2, testar todas as camadas de rede ajuda a determinar como as próprias camadas funcionam como estas interagem com o usuário e a qualidade de serviço necessária.

Tabela 4.2: Métricas de avaliação para diferentes camadas de rede

Camada	Análise	Métrica
Layer 2 - Data Link	- Velocidade de dados entre dispositivos; - Atraso entre pacotes; - Habilidade para lidar com rajadas de tráfego.	- Throughput; - Latência; - Perda de pacotes.
Layer 3 - Rede	- Variação de atraso no fluxo de transferência da rede; - Ordenamento dos pacotes; - Acompanhamento do fluxo de pacotes; - VLAN's (segmentação do tráfego).	- Jitter; - Monitoramento; - Throughput, latência, e perda pacotes; - Teste de protocolos e serviços.
Layer 4 - Transporte	- Manipulação de rajadas (burst) para chamadas e conexões; - Tempo de resposta da aplicação (vídeo, voz, FTP, HTTP, e-mail); - Desempenho da rede (firewall, multicast, etc).	- Taxa máxima; - Categoria de conexão; - Jitter.

Fonte: SPIRENT, 2003. p. 10.

4.5 Métrica por Fluxo de Dados (Per-flow)

Um típico usuário de rede pode estar executando vários aplicativos simultaneamente. Isso significa que inúmeros utilizadores podem ter seus pedidos multiplexados em uma única porta, combinando várias classes de serviços ou fluxos de tráfego. Cada tráfego pode ter um conjunto distinto de desempenho (QoS), que precisam ser medidos (WANG, 2001).

A métrica por Per-flow, faz uma avaliação além dos ensaios tradicionais por fluxo de porta (Per-port), fazendo com que haja uma avaliação real do fluxo do usuário.

Além dos testes de vazão, latência, jitter, perda de quadros e monitoramento de seqüência, as métricas de QoS por per-flow incluem:

- Otimização dos fluxos de tráfego;
- Priorização dos fluxos de tráfego;
- Priorização de tráfego baseado em políticas como TOS / DiffServ, RSVP, MPLS ou IEEE 802,1;
- Segmentação dos fluxos de tráfego ou fluxos (Virtual LAN's);
- Encaminhamento de tráfego apenas para endereços que atendam aos critérios de VLAN.

Por exemplo, quando o serviço de voz sobre IP (VOIP) é trafegado através da rede, um gerente ou engenheiro de teste precisa ser capaz de determinar a diferença de latência entre os pacotes. Este parâmetro é importante em redes VOIP ou multimídia multicast-over-IP, pois, embora estes aplicativos não sejam muito sensíveis a atrasos em toda a rede, a variação deste atraso (jitter) pode ter um efeito sobre a qualidade do serviço.

A perda de pacotes consecutivos caracteriza outro importante fator nas métricas de avaliação de redes com tráfego VOIP. Uma perda de vários pacotes em uma fila afetará a qualidade de voz e irá impor retransmissão de pacotes, assim, retardando ainda mais a rede.

Outra medida fundamental é o monitoramento de seqüência de fluxo. Este monitoramento permite verificar se os pacotes enviados chegam em boa ordem. O desordenamento consecutivo faz com que a rede retransmita muitos pacotes, o que aumenta o tráfego e provoca uma maior degradação.

A avaliação de desempenho em QoS é importante tanto para medir a capacidade da rede para deslocar os dados (plano de dados), como a capacidade da rede para gerir aplicações (plano de controle). Estas análises incluem avaliações de desempenho de roteamento (RIP e OSPF) e da capacidade da rede para realizar a convergência no caso de uma falha. É importante também mensurar o efeito que a gestão de filas e políticas têm sobre o poder de transformação do indivíduo e, em última instância, o desempenho de dispositivos da rede.

5 CONCLUSÃO

5.1 Principais contribuições

Neste trabalho foi possível determinar as referências básicas e complementares para avaliação de desempenho em redes com Qualidade de Serviço. Sob este aspecto, verifica-se a importância de métricas que estejam pré-estabelecidas nas RFCs e que respeitem os métodos de validação e divulgação dos resultados.

Este trabalho também demonstra a importância da fase de testes durante o desenvolvimento de um projeto, já que apenas nesta etapa, o projeto poderá ser verdadeiramente avaliado de forma a comprovar as necessidades exigidas por um determinado cliente. Devido a estes fatores que devem ser utilizadas técnicas avançadas de teste, já que métodos tradicionais (PING, IPERF, etc) se mostram pouco eficazes diante de cenários complexos de avaliação.

Ainda há um longo e tortuoso caminho a ser percorrido, já que, por exemplo, as redes de telecomunicação iniciam sua entrada nos serviços diferenciados de forma a atender as necessidades dos mais variados clientes. Estes serviços podem envolver desde operações simples até procedimentos remotos de cirurgia médica.

Com tudo, não há uma certeza definitiva se procedimentos ou operações complexas poderão compartilhar um meio tão comum para nós atualmente; a Internet. Outro fator que deve ser mencionado é se a priorização de pacotes poderá gerar uma espécie de “Compra de Prioridade”, limitando a liberdade de tráfego existente na Internet.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Ainda não há uma ferramenta livre que preencha os critérios para avaliação de Qualidade de Serviço de forma concreta e eficaz. As ferramentas proprietárias, como, por exemplo, o SmartClass ou o SmartBits, geralmente possuem um custo de aquisição muito elevado.

Esta ferramenta deve possuir um sistema operacional dedicado, onde não ocorra o comprometimento no resultado dos testes devido ao compartilhamento de processamento por processos que não envolvam os métodos de avaliação.

REFERÊNCIAS

- BRADNER, S. **Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices**: RFC 1242. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2000.
- BRADNER, S.; MCQUAID, J. **Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices**: RFC 2544. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 1999.
- BRADNER, S.; MCQUAID, J. **Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices**: RFC 1944. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2000.
- BURGESS, N. **Testing of Ethernet Services in Telecom Networks**: RFC 2544. [S.l.]: Agilent Technologies, 2004.
- CECHIN, S. L. **Avaliação de Desempenho em Redes de Computadores**. 2005. Trabalho Individual (Doutorado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFRGS, Porto Alegre.
- CIRNE W. **Using Moldability to Improve the Performance of Supercomputer Jobs**. 2001. Tese de (Doutorado) - University of California, San Diego.
- CISCO SYSTEMS. **Global IP Traffic Forecast and Methodology**. [S.l.], 2008.
- CISCO SYSTEMS. **Quality of Service Overview**. 1999. Disponível em: <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/software/ios120/12cgcr/qos_c/qcintro.htm>. Acesso em: out. 2008.
- DUBRAY, K. **Terminology for IP Multicast Benchmarking**: RFC 2432. [S.l.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 1998.
- FONSECA, J. L. A. **Estudo experimental de videoconferência pessoal em inter-redes IP com QoS**. June 2001. Disponível em: <http://www.rnp.br/newsgen/01111/jl_wtr.html>. Acesso em: out. 2008.
- JAIN, R. **The Art of Computer Systems Performance Analysis**. New York: John Wiley, 1992.

MANDEVILLE, R.; PERSER, J. **Benchmarking Methodology for LAN Switching Devices**: RFC 2889. [S.I.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2000.

MELO, E. T. L. **Qualidade de Serviço em redes IP com DiffServ**: Avaliação através d Medições. 2001. Trabalho Individual (Mestrado em Ciência da Computação) – Instituto de Informática, UFSC, Florianópolis.

MONTEIRO, J. A. S.; SAMPAIO, L.; FIGUEREDO, M. **GT-QoS**: documento de avaliação dos pilotos. [S.I.]: RNP, 2003.

SOUZA, F. N. M. de A. **Monitoração de Desempenho de Voz sobre IP (VoIP)**. May 2006. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialmondesvoip/default.asp>>. Acesso em: out. 2008.

SPIRENT COMMUNICATIONS. **The Key to QoS Testing**. [S.I.], 2003.

STOICA, I. **Providing QoS guarantees without per-flow state**. January 2001. Diponível em: <<http://www.cs.berkeley.edu/~istoica/QoS/>>. Acesso em: out. 2008.

STOPP, D.; HICKMAN, B. **Methodology for IP Multicast Benchmarking**: RFC 3918. [S.I.]: Internet Engineering Task Force, Network Working Group, 2004.

STOPP_1, D. **Quality of Service (QoS) Test Plan**. [S. I.]: Ixia Leader in IP Performance Testing, 2005.

STOPP_2, D. **RFC 2889 Tests**. [S. I.]: Ixia Leader in IP Performance Testing, 2008.

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

TAROUCO, L. M. R. **Videoconferência**. [S. I.]: Rede Nacional de Pesquisa (RNP) / Grupo de Trabalho Aplicações Educacionais em Rede, 2003.

WANG, Z. **Architectures and Mechanisms for Quality of Service**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001.

WELSH, M.; BASU, A.; EICKEN, T. ATM and Fast Ethernet Network Interfaces for User-Level Communication. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON HIGH-PERFORMANCE COMPUTER ARCHITECTURE, 3., 1997, San Antonio. **Proceedings...** Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society, 1997.