Análise de Qualidade de Serviço em Redes Corporativas

Dinailton José da Silva

Dissertação de Mestrado Profissional

Instituto de Computação

Universidade Estadual de Campinas

Análise de Qualidade de Serviço em Redes Corporativas

Dinailton José da Silva

2º Semestre 2004

Banca Examinadora:

- Prof. Dr. Paulo Lício de Geus (Orientador)
- Prof. Dr. Flávio Keidi Miyazawa
  Instituto de Computação, UNICAMP
- Prof. Dr. Michel Daoud Yacoub
  Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, UNICAMP
- Prof. Dr. Edmundo Madeira (Suplente)
  Instituto de Computação, UNICAMP
- Prof. Dr. Nelson Fonseca (Suplente)
  Instituto de Computação, UNICAMP

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA DO IMECC DA UNICAMP

Silva, Dinailton José da

Si38a Análise de qualidade de serviço em redes corporativas / Dinailton José da Silva -- Campinas, [S.P. :s.n.], 2004.

Orientador : Paulo Lício de Geus

Trabalho final (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Computação.

1. Redes de computadores. 2. Redes de computação – Estudo de casos. 3. Redes de computação – Gerência. 4. Garantia de qualidade. I. Geus, Paulo Lício de. II. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Computação. III. Título.

Análise de Qualidade de Serviço em Redes Corporativas

Este exemplar corresponde à redação final da dissertação devidamente corrigida e defendida por Dinailton José da Silva e aprovada pela banca examinadora.

Campinas, dezembro de 2004.

Paulo Lício de Geus
Instituto de Computação, UNICAMP
Orientador

Dissertação apresentada ao Instituto de Computação, UNICAMP, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

© Dinailton José da Silva, 2004
Todos os direitos reservados.

Resumo

Desde sua origem, o protocolo IP (Internet Protocol – Protocolo Internet) foi desenvolvido e implementado como um protocolo de comunicação com controle de tráfego utilizando a regra do “melhor esforço”, pois não provê nenhum mecanismo de qualidade de serviços e, conseqüentemente, nenhuma garantia de alocação de recursos da rede. Naquela época, ninguém imaginava que a Internet tornar-se-ia a grande rede mundial, como o é atualmente. Esse rápido crescimento impulsionou também as redes corporativas e fez com que novos serviços como voz (telefonia), vídeo-conferência e dados trafegassem em uma única infra-estrutura de redes de pacotes, a rede IP. Essa emergente e crescente demanda por novos serviços fizeram com que os fabricantes de equipamentos de redes desenvolvessem funcionalidades que provissem certos níveis de garantias de serviços, a qual se deu o nome de QoS (Quality of Service – Qualidade de Serviço).

O objetivo principal deste trabalho é analisar os modelos de QoS que se adequam às redes corporativas, de forma que as aplicações de maior interesse de tráfego da corporação obtenham garantias de recursos na transmissão de dados com o uso das técnicas de QoS.

Assim, são apresentadas, por meio de teoria e prática, as funcionalidades e as características dos modelos de QoS, tendo como escopo uma análise estratégica quanto à aplicabilidade dos modelos para as redes corporativas.

Abstract

Since its conception, the IP protocol was developed and implemented as a communication protocol whose traffic control uses a "best effort" rule, for there is no provision for quality of service and, as such, no guarantees regarding the assignment of network resources. By that time nobody would have imagined the Internet becoming today's ubiquitous worldwide network. This rapid growth bolstered corporate networks and made new services, such as telephony and videoconference, to be carried together with data on a single packet network infrastructure---the IP network. This emerging and growing demand for new services caused network equipment manufacturers to develop new facilities to provide some service guarantee levels, named Quality of Service (QoS).

The main goal of this work is to analyze QoS models in the context of corporate networks to check their adequacy towards ensuring proper resource assignment for the applications of most interest to the corporation.

As such, features and facilities of QoS models are presented through theory and practice, keeping in mind their applicability in a corporate scope.

Dedicatória

Para meus pais.

"Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim".

Agradecimentos

A Deus, por eu existir, estar sempre ao meu lado e por permitir realizar mais essa etapa na minha vida.
Aos meus pais, Izequias e Enedina Silva, por todas as orações e preocupações com minhas constantes longas viagens semanais. Amo vocês.
Ao meu irmão Izekson, por todo incentivo, orientação e motivação (você é demais).
Aos meus irmãos Mirian, Ikelson, Miriane, Fernando e Zoé, obrigado por toda a compreensão nos momentos de ausência e por todo o carinho de vocês.
À minha namorada, Tatiana, por todo o carinho, paciência e revisão textual.
À tia Shirley pelo acolhimento nas noites de sexta-feira.
A todos os meus familiares.
Ao Ministério de Música Dei Verbum e aos amigos do RCJ.
Ao professor Oswaldo Franzin, pelo apoio e co-orientação.
Ao professor Paulo Lício, pela orientação, compreensão e ajuda.
À Secretaria do Instituto de Computação.
Aos colegas de trabalho do Núcleo de TI da Brasil Telecom-Goiás.
Aos colegas de turma (Marco - O Tuiuiu ligeiro e arisco, Wennder - Candango Goiano, Marcus Valério e Luiz Gustavo - Os Mineirinhos, Josko e Adão), valeu a camaradagem.

Conteúdo

Resumo ..... **vii**

Abstract ..... **viii**

Dedicatória ..... **ix**

Agradecimentos ..... **xi**

Conteúdo ..... **xii**

Lista de Siglas ..... **xiv**

Lista de Figuras ..... **xvi**

Lista de Tabelas ..... **xviii**

1 Introdução **1**

1.1 Motivação 2
1.2 Organização do trabalho 3

2 Qualidade de Serviço em redes IP **5**

2.1 Histórico 5
2.2 Requisitos básicos para QoS 9
2.3 Níveis de Qualidade de Serviço 16
2.3.1 Serviços Diferenciados – DiffServ 16
2.3.2 Comportamento no Domínio de Serviço (PHB) 19
2.4 Funções Vitais nos Limites da Rede 23
2.4.1 Gerenciamento de Congestionamento 24

3 Experimentos de QoS para Redes Corporativas **36**

3.1 Especificações e características dos recursos 37
3.2 Teste com o Melhor Esforço (*Best-Effort*) 42
3.2.1 Considerações 48
3.3 Fila de Prioridade (Priority Queue) 49
3.3.1 Considerações 55

3.4 Fila Customizada (*Custom Queue*) 56
3.4.1 Considerações 66
3.5 Fila Justa (WFQ - Weighted Fair Queueing)....67
3.5.1 Fila Justa Baseada no Fluxo - WFQ 67
3.5.2 Fila Justa baseada em Classes – CBWFQ 71
3.5.3 Considerações - WFQ....78

4 Contribuições deste trabalho 80

4.1 Estudo de Casos 82
4.1.1 Otimizando o Compartilhamento da Largura de Banda 82
4.1.2 Priorização do tráfego de Voz 84

5 Conclusão 86

5.1 Trabalhos Futuros 88

Referências Bibliográficas 90

Lista de Siglas

ACL	Access List
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP	Border Gateway Protocol
CBWFQ	Class-Base Weighted Fair Queueing
CoS	Class Of Service
CPU	Unidade Central de Processamento (Central Processing Unit)
CQ	Custom Queueing
DiffServ	Differentiated Services
DS	Campo do Cabeçalho IP para Serviços Diferenciados
DSCP	Differentiated Services Code Point
FIFO	First-in, First-out
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Generalized Processor Sharing
HTML	Hyper Text Markup Language
IETF	Internet Engineering Task Force
IP	Internet Protocol
Kbps	Kilo Bits por Segundo
Kbps	Kilo Byte por Segundo
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
MPLS	Multi Protocol Label Switching
MTU	Maximum Trasmission Unit
NSAP	Network Service Access Point

OSPF	Open Shortest Path First
PHB	Per-Hop Behavior (Comportamento do Nó)
PQ	Priority Queueing
QoS	Quality Of Service
RED	Random Early Detection (detecção randômica antecipada)
RSVP	Resource Reservation Protocol
RIP	Routing Information Protocol
TCA	Traffic Conditioning Agreement
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
ToS	Type Of Service
TTL	Time To Live
UDP	User Datagram Protocol
VLAN	Virtual Local Area Network
WAN	Wide Area Network
WFQ	Weight Far Queueing

Lista de Figuras

Figura 2.1: Cabeçalho IP 7
Figura 2.2: Efeito do *Jitter* para as Aplicações 14
Figura 2.3: Campo ToS do cabeçalho IP 17
Figura 2.4: Domínio de Diferenciação de Serviços 18
Figura 2.5: Condicionador de Tráfego 19
Figura 2.6: Byte ToS 24
Figura 2.7: FIFO - Primeiro a entrar, primeiro a sair 26
Figura 2.8: Recursos alocados para o usuário A e B 27
Figura 2.9: Recursos Alocados para o usuário C 27
Figura 2.10: Recursos Alocados para o usuário D e E 28
Figura 2.11: Fórmula para cálculo de distribuição de recursos 28
Figura 2.12: Fluxograma de funcionamento de enfileiramento PQ [SIL 00a] 30
Figura 2.13: Fluxograma de funcionamento do Enfileiramento CQ [SIL 00a] 31
Figura 2.14: Esquema de funcionamento do WFQ [SIL 00a] 32
Figura 2.15: Exemplo de enfileiramento WFQ 33
Figura 2.16: Exemplo de enfileiramento WFQ com peso 34
Figura 3.1: Topologia da rede utilizada nos testes 37
Figura 3.2: Ocupação do link no inicio da transferência 45
Figura 3.3: Ocupação do link no término da transferência 46
Figura 3.4: Largura de banda (Kbps) no início da Transferência - FIFO 47
Figura 3.5: Utilização da banda no início da transferência – FIFO 47
Figura 3.6: Utilização da Banda após 1 minuto de Transferência 48
Figura 3.7: Início da Transferência – Fila de Prioridade 52
Figura 3.8: Superioridade absoluta na Fila de Prioridade 53
Figura 3.9: Término da transferência de A3 e A2.- PQ 54
Figura 3.10: Término das transferências- PQ 54
Figura 3.11: Porcentagem de utilização da Banda – 60%, 20% e 20% - CQ 61
Figura 3.12: Vazão consumida por fila - CQ 62
Figura 3.13: Utilização da Banda – 50%, 30% e 20% - CQ 65
Figura 3.14: Consumo de banda em Kbps (50%,30% e 20%) - CQ 66
Figura 3.15: Ocupação da largura de banda durante as transferências 69
Figura 3.16: Largura de Banda consumida por máquina - WFQ 69
Figura 3.17: Porcentagem de utilização do link por máquina - WFQ 70
Figura 3.18: Porcentagem de utilização da banda - CBWFQ 74
Figura 3.19: Largura de banda utilizada por cada máquina - CBWFQ 74

Figura 3.20: Porcentagem de utilização da banda – Politica1 -CBWFQ 75
Figura 3.21: Largura da banda consumida por máquina - Política1 - CBWFQ 76
Figura 3.22: Porcentagem de utilização da banda – Politica2 - CBWFQ 77
Figura 3.23: Largura de banda consumida por destino - Política2 - CBWFQ.....78
Figura 4.1: Esquema para Seleção de Modelo de QoS. [SIL 00a].....82

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Aplicações x Sensibilidade ao Parâmetro de QoS [MAR 99] 10
Tabela 2.2: Largura de banda utilizada pelas aplicações [MAR 99].....11
Tabela 2.3: Atrasos de Propagação [MAR 99] 12
Tabela 2.4: Valores binários para os níveis de Precedência IP [VEG 02].....17
Tabela 2.5: Níveis de precedência de descartes – PHB-AF [HEI 99].....21
Tabela 2.6: Descrição dos Bits do precedência IP 24
Tabela 3.1: Arquivos utilizados na carga de tráfego.....38
Tabela 3.2: Configuração dos equipamentos 38
Tabela 3.3: Característica do Roteador R1 39
Tabela 3.4: Característica do roteador R2 39
Tabela 3.5: Configuração Padrão dos roteadores R1 e R2.....41
Tabela 3.6: Configuração do roteador R2 com a estratégia de fila FIFO 42
Tabela 3.7: Seqüência de transferências –Melhor Esforço 43
Tabela 3.8: Valores obtidos nas transferências com o modelo FIFO 43
Tabela 3.9: Ping em Paralelo com as Transferências - FIFO.....44
Tabela 3.10: Pacotes descartados – FIFO 45
Tabela 3.11: Seqüência de transferências – Fila de Prioridade 50
Tabela 3.12: Configuração da Lista de Prioridade 50
Tabela 3.13: Valores das transferências – Fila de Prioridade 51
Tabela 3.14: Seqüência de transferências – Fila Customizada.....56
Tabela 3.15: Cálculo do Contador de Bytes - CQ 57
Tabela 3.16: Configuração roteador R2 - *Custom Queue* 58
Tabela 3.17: Cálculo Contador de Byte após conclusão da fila 3 60
Tabela 3.18: Valores obtidos na transferências - CQ.....61
Tabela 3.19: Novo cálculo Contador de Byte - CQ.....63
Tabela 3.20: Configuração roteador R2 (Novos valores) - CQ.....63
Tabela 3.21: Cálculo do Contador de Byte após o término de fila 3 - CQ 64
Tabela 3.22: Valores gastos nas transferências - CQ 65
Tabela 3.23: Estratégia de fila Padrão - WFQ.....67
Tabela 3.24: Seqüência de transferência - WFQ 67
Tabela 3.25: Valores obtidos na transferência - WFQ.....68
Tabela 3.26: Ping em paralelo com as Transferências - WFQ.....71
Tabela 3.27: Seqüência de transferência - CBWFQ 72
Tabela 3.28: Configuração do roteador R2 com o modelo CBWFQ.....73
Tabela 3.29: Alteração das políticas – CBWFQ 75

Tabela 3.30: Alteração das políticas – Politica2 - CBWFQ 77
Tabela 4.1: Resumo das características de modelos de QoS.....81

Capítulo 1

1 Introdução

Questões sobre eficiência de rede são assuntos comumente debatidos no dia-a-dia. Apresenta-se, aqui, um estudo sobre as técnicas de Qualidade de Serviço (QoS) dividido em duas partes: a primeira é um estudo teórico a respeito de Qualidade de Serviço, o funcionamento, definições e modelos de QoS. A segunda parte apresenta relatos de experiências realizadas para posterior análise estratégica sobre alguns modelos disponíveis de QoS.

O enfoque principal deste estudo são os modelos de QoS que se adequam às redes corporativas atuais. O modelo de QoS específico para os núcleos das redes das operadoras de telecomunicações não foi objeto de investigação porque o controle dos recursos disponíveis que se têm atualmente está nas bordas das redes corporativas.

Nos últimos anos, a rede Internet cresceu acentuadamente bem como o uso e o número de serviços disponíveis, proporcionando o desenvolvimento de novas aplicações para os negócios corporativos. Além das aplicações tradicionais, a Voz sobre IP (VoIP) e a vídeo-conferência tendem a crescer nas intranets corporativas, fazendo com que os novos serviços concorram com o tráfego tradicional. Isso faz com que as redes busquem funcionalidades para apoiarem as aplicações emergentes existentes e seus serviços.

No início, a Internet baseava-se em requisições de transferência de dados sobre a rede, utilizando aplicações simples como *ftp* (File Transfer Protocol – Protocolo de Transferência de Arquivos) e o *remote login*. Em ambos os casos, requisitos de serviço não eram tratados.

Hodiernamente, muitos protocolos de roteamento empregados são baseados em algoritmos desenhados para obter o menor caminho entre dois pontos, desconsiderando métricas como atraso e congestionamento.

Contudo, a demanda por velocidade e largura de banda sobre este ambiente vem causando o esgotamento dos recursos disponíveis na infra-estrutura atual das redes corporativas. Os usuários, além do acentuado crescimento, buscam constantemente aplicações maiores e os novos serviços de voz e de vídeo aumentam ainda mais a carga, causando o congestionamento e a degradação da performance.

Portanto, almeja-se que as redes suportem os diversos serviços e requisições dos usuários de maneira eficiente por meio das técnicas de Qualidade de Serviço (QoS).

1.1 Motivação

Após a análise de diversas redes corporativas, conclui-se que os responsáveis por elas, em sua maioria, não sabem o conteúdo nem o tipo de tráfego que se transporta e, no entanto, estas são redes de negócios que geram faturamento e que dependem da mesma para continuar gerando o faturamento da corporação através de suas transações.

Os tipos mais comuns de tráfego concorrentes com as aplicações de interesse da corporação são: Internet, e-mail (particular e corporativo) com anexos de tamanhos significativos, vírus em ação, transferências de arquivos em horários inapropriados (músicas, vídeos etc).

Quando os usuários sentem que a rede tornou-se o gargalo de seus negócios devido ao desempenho, a primeira ação a ser tomada e talvez a única e que está ligada de maneira diretamente proporcional ao fator financeiro é a de prover uma largura de banda que corresponda às suas necessidades.

Contudo, faz-se necessário um estudo mais minucioso antes de optar pelo requisito largura de banda; para tanto deve ser mapeada a real necessidade dos requisitos para se propiciar Qualidade de Serviço à rede.

O fato é que o volume de tráfego aliado aos serviços atualmente disponíveis precisam ser controlados, tendo em vista a sua classificação e a priorização do tráfego conforme o objetivo principal a que a rede destina-se, para que se alcance melhor desempenho nas redes. Assim, mais serviços poderão ser agregados às redes e, conseqüentemente, mais dependentes os processos tornar-se-ão e mais célere será a empresa.

Outros fatores motivacionais que também impulsionaram o estudo sobre o assunto foram à curiosidade sobre o tema e as inúmeras solicitações de empresas que visam à alta qualidade no tráfego transportado pela rede.

1.2 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em duas partes. Na primeira parte, representada pelo Capítulo 2, encontra-se a teoria relacionada ao estudo sobre Qualidade de Serviço - QoS. Este capítulo dá o subsídio necessário para o entendimento do assunto. Nele encontram-se a introdução, as definições, as funcionalidades e alguns modelos de QoS que se adequam à redes corporativas.

Na segunda parte do trabalho, representado pelo Capítulo 3, encontram-se os testes práticos realizados com alguns modelos de QoS disponíveis para redes corporativas: melhor esforço (FIFO), filas customizadas (CQ), filas de prioridade (PQ) e filas baseada no peso (WFQ).

Com os resultados obtidos por meio da análise estratégica dos modelos apresentados, encontram-se informações que possibilitam a possível escolha do modelo de QoS adequado à situação atual da rede.

No Capítulo 4, apresentam-se estudos de casos ocorridos e implantados em empresas, onde relata-se a situação anterior e posterior à aplicação das técnicas de QoS, observando-se o benefício proporcionado à rede corporativa.

Nas conclusões deste trabalho, representada pelo Capítulo 5, apresenta-se um breve resumo dos modelos de QoS experimentados e a análise estratégica deles.

Enfatiza-se que os Capítulos 3, 4 e 5, são de grande valia para os gerentes e administradores de redes corporativas, principalmente àqueles que priorizam a objetividade, fator tempo e, obviamente, os bons resultados.

Capítulo 2

2 Qualidade de Serviço em redes IP

Graças à Internet, principal alavanca para o desenvolvimento de técnicas de Qualidade de Serviço, há benefícios pelo uso de suas funcionalidades, fazendo com que as aplicações existentes e as emergentes consigam trafegar com certas garantias.

Para o entendimento destes benefícios, é apresentado neste capítulo um estudo teórico sobre Qualidade de Serviço, feito por meio da história de QoS, como parte introdutória, suas definições e princípios, os requisitos necessários para Qualidade de Serviço, os níveis de QoS, as características e os modelos de QoS disponíveis para as questões sobre gerenciamento e congestionamento em redes corporativas.

2.1 Histórico

A maior rede IP, a Internet global, cresceu exponencialmente durante os últimos anos, bem como o uso e o número de aplicações disponíveis baseadas em Internet. Assim como na Internet, pressupõe-se que aplicações como Voz sobre IP (VoIP) e vídeo-conferência tendem ao crescimento também nas intranets corporativas. Cada vez mais os usuários e as aplicações entram no mundo IP, e as

redes precisam de funcionalidades para apoiar as aplicações emergentes existentes e seus serviços.

As redes IPs oferecem, atualmente, só o serviço de melhor esforço (*Best-effort*), o qual não garante quando ou se um pacote é entregue ao receptor, pois, durante um congestionamento de redes, os pacotes podem ser descartados.

Em uma rede, os pacotes geralmente são diferenciados no seu fluxo básico por cinco campos do cabeçalho do pacote IP: Endereço IP de origem, o endereço IP de destino, protocolo, porta de origem e porta de destino. Um fluxo individual da aplicação de uma máquina de origem para a aplicação de uma máquina de destino é transportado com os mesmos valores dos cinco campos do cabeçalho IP.

Para suportar o tráfego de aplicações de dados, voz e vídeo com exigências de serviço variadas, a rede precisa diferenciar o tipo de tráfego de que o serviço necessita. Entretanto, com o serviço de melhor esforço, não é possível fazer esta diferenciação entre os milhares de fluxo de tráfego existente na rede IP. Conseqüentemente, nenhuma prioridade ou garantia é provida para o tráfego das aplicações.

As funções de QoS são o esperado para garantir entrega e para diferenciar os serviços IP aos recursos da rede e para o controle da rede pela operação. A QoS é um conjunto de exigências de serviços que precisa ser conhecido pela rede no fluxo do transporte pois provê garantias de serviços fim-a-fim e controle baseado em políticas de medidas de performance, alocação de recursos, comutação, roteamento, itinerário de pacotes e mecanismos de perda de pacotes.

Com o uso de QoS em redes IP, as redes habilitam-se a suportar as aplicações existentes e as aplicações emergentes, como multimídia, além das novas aplicações como Voz sobre IP (VoIP), que exigem níveis específicos de QoS da rede.

A QoS em IP não é uma reflexão tardia. Os fundadores da Internet previram esta necessidade e aprovisionaram, como parte da especificação inicial do protocolo IP, um byte no cabeçalho do protocolo (Figura 2.1), chamado de Tipo de Serviço (ToS – Type of Service), para facilitar o QoS.

Até os fins da década de 80, a Internet tinha uma utilização mais voltada ao meio acadêmico, com aplicações e tráfego limitados que atropelaram o uso do ToS. Conseqüentemente, o ToS não foi necessariamente importante, e quase todas as implementações de IP ignoraram o byte ToS. As aplicações IP especificamente não marcaram o byte ToS, nem os roteadores usaram isto para o tratamento de encaminhamento dos pacotes IP.

<table>
<tr><td>0</td><td>4</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td><td>20</td><td>24</td><td>28 31</td></tr>
<tr><td colspan="2">Versão</td><td colspan="2">IHL</td><td colspan="2">Tipo de serviço</td><td colspan="3">Comprimento total</td></tr>
<tr><td colspan="4">Identificação</td><td>Flags</td><td colspan="3">Deslocamento</td></tr>
<tr><td colspan="2">Tempo de vida</td><td colspan="2">Protocolo</td><td colspan="4">Checksum do cabeçalho</td></tr>
<tr><td colspan="8">Endereço de origem</td></tr>
<tr><td colspan="8">Endereço de destino</td></tr>
<tr><td colspan="6">Opções</td><td colspan="2">Espaçamento</td></tr>
<tr><td colspan="8">Dados</td></tr>
</table>

Figura 2.1: Cabeçalho IP

A importância de QoS sobre a Internet cresceu com o presente uso comercial e com a popularização da rede. A Internet é baseada em serviços fim-a-fim sem conexão, a qual provê o transporte dos dados pelo melhor-esforço usando o protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol).

Inicialmente, as funções de QoS foram um conjunto de enlaces para a Internet. O maior problema é o custo dos enlaces WAN (Wide Area Network) e o excessivo overhead devido a pequenos pacotes TCP criados por aplicações como *telnet* e *rlogin*. O algoritmo de Nagle resolve este assunto, pois é suportado por todas as implementações IP. O supracitado algoritmo anunciou o começo das funcionalidades de QoS na Internet [NAG 84].

A regra de Nagle é um algoritmo heurístico que procura evitar o envio de blocos de dados IP muito pequenos, também chamados *tinygramas*. São geralmente criados por ferramentas de redes interativas que transmitem chaves únicas, tais como *telnet* ou *rsh*. Os *tinygramas* podem particularmente criar perdas no uso da banda de comunicação devido a uma baixa taxa de transmissão de *bits* por segundo, como ocorre por exemplo com o protocolo SLIP. O algoritmo de Nagle tenta evitá-los retendo as transmissões de dados TCP por instantes em algumas circunstâncias.

Em 1986, Van Jacobson desenvolveu os próximos conjuntos de ferramentas para QoS na Internet, que consistem num mecanismo de congestionamento para os sistemas que estão nas bordas das redes e é requerido atualmente nas implementações TCP. Tais mecanismos, como o início lento e questões de congestionamento, ajudaram a prevenir o colapso de congestionamento da presente Internet. Fazem principalmente o fluxo do TCP responder por sinalização de congestionamento dentro da rede. Dois mecanismos adicionais – *fast retransmit* e *fast recovery* (retransmissão rápida e recuperação rápida – FRR) – foram adicionados em 1990, haja vista o ótimo desempenho durante os períodos de perda de pacotes [STE 97].

O FRR é um algoritmo de controle de congestionamento que tornou possível a recuperação rápida de pacotes perdidos. Sem o FRR, o TCP utiliza um cronômetro que requer um intervalo para as retransmissões quando, porventura, um pacote se perder (*Time-out*). Com o FRR, se um receptor recebe um segmento de dados fora de ordem, ele imediatamente envia um reconhecimento duplicado para o transmissor. Se o transmissor recebe três reconhecimentos duplicados, ele considera que o segmento de dados indicado pelo reconhecimento foi perdido e retransmite imediatamente o segmente perdido. Com o FRR não se espera o tempo de *time-out* para a retransmissão iniciar-se. O FRR trabalha mais eficientemente quando há perdas de pacotes isolados. Não trabalha muito bem quando ocorre múltipla perda de pacotes em um período curto de tempo [STE 97].

Embora os mecanismos de QoS nos sistemas sejam essenciais, eles não completam toda a história de QoS. Mecanismos foram providos dentro dos roteadores para o transporte de tráfego entre os sistemas fim-a-fim. Por volta da década de 90 o enfoque de QoS estava nos roteadores. Os roteadores são limitados a encaminhar os pacotes *first-in, first-out* (FIFO - primeiro a entrar, primeiro a sair) e não oferecem nenhum mecanismo para diferenciar ou priorizar tráfego com um algoritmo de programação. Filas do tipo FIFO causam perdas nos últimos pacotes e não protegem o fluxo quando houver congestionamento.

O desenvolvimento de QoS na Internet progride com esforços de padronização e entregas de QoS na Internet fim-a-fim, inclusive com técnicas que

trazem as funcionalidades de atendimento a QoS embutidas, como por exemplo, a técnica MPLS (*Multi-Protocol Label Switch*).

A QoS refere-se à capacidade de uma rede em proporcionar melhores serviços em um determinado tráfego de rede sobre diversas tecnologias como: *Frame-Relay, ATM, Ethernet* etc.

O principal objetivo de QoS consiste na largura de banda dedicada, controle da variação do atraso e latência e melhoria nas características de perdas de pacotes. Uma vez habilitado o serviço de QoS, tem-se um complexo controle e diagnóstico de serviços de uma gama de aplicações e tipos de tráfego. Isso faz com que haja um melhor aproveitamento e controle dos recursos utilizados, tornando o uso dos recursos de rede mais eficientes, sejam redes corporativas de pequeno porte, provedor de serviços de Internet ou uma grande rede corporativa.

Diante do exposto, conclui-se que Qualidade de Serviço é um requisito das aplicações para o qual exige-se que determinados parâmetros (atrasos, vazões, perdas etc.) estejam dentro de limites bem definidos (valor mínimo, valor máximo) [MAR 99].

2.2 Requisitos básicos para QoS

A priori, é necessário considerar que nem todas as aplicações necessitam de garantias fortes e rígidas de Qualidade de Serviço (QoS) para que seu desempenho seja satisfatório. Dentre as novas aplicações, as de multimídia são, normalmente, aquelas que têm uma maior exigência de QoS.

Para prover garantia de QoS, devem-se definir claramente os requisitos necessários para que as aplicações possam executar com qualidade. Alguns dos requisitos mais comumente utilizados são:

- Largura de Banda/Vazão - Taxa efetiva de transferência de dados;
- Perdas - Capacidade da rede em entregar corretamente os dados;
- *Jitter* - Variação do retardo;
- Atraso (Latência) - Tempo gasto pelos pacotes para ir da origem ao destino.

A Tabela 2.1 relaciona algumas aplicações com a sensibilidade aos parâmetros de Qualidade de Serviços.

Tipo de Tráfego	Vazão	Perdas	Latência	Jitter
Voz	Muito Baixa	Média	Alta	Alta
Comércio eletrônico	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Transações	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Correio eletrônico	Baixa	Alta	Baixa	Baixa
Acesso Remoto (Telnet)	Baixa	Alta	Média	Baixa
Navegação web casual	Baixa	Média	Média	Baixa
Navegação web crítica	Média	Alta	Alta	Baixa
Transferência de arquivos	Alta	Média	Baixa	Baixa
Videoconferência	Alta	Média	Alta	Alta
Multicast	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 2.1: Aplicações x Sensibilidade ao Parâmetro de QoS [MAR 99]

Além dos requisitos acima mencionados, outro item incluso recentemente na fase de elaboração de projeto de rede para garantia da qualidade de serviço é o requisito disponibilidade. Em termos práticos, a disponibilidade é uma medida da garantia de execução da aplicação ao longo do tempo e depende de alguns fatores, tais como:

- Disponibilidade dos equipamentos utilizados na rede proprietária (Rede do cliente - LAN, MAN ou WAN);
- Disponibilidade da rede pública, quando é utilizada (Operadoras de telecomunicações, ISPs - Internet Service Providers etc).

As empresas dependem cada vez mais das redes de computadores para a viabilização de seus negócios (comércio eletrônico, *home-banking*, atendimento on-line, transações *on-line* etc) e, neste sentido, a disponibilidade é um requisito bastante rígido. Requisitos de disponibilidade acima de 99% do tempo são comuns para a QoS de aplicações WEB, aplicações cliente/servidor e aplicações de forte interação com o público.

Largura de Banda

As aplicações sempre precisam de vazão (largura de banda) e, assim sendo, este é o parâmetro mais básico e certamente mais presente nas especificações de QoS. Este parâmetro da qualidade de serviço é normalmente considerado durante a fase de projeto e implantação da rede. Uma boa definição deste requisito é vital para a operação adequada de qualquer aplicação.

O termo “largura de banda” é usado para descrever a capacidade de transferência de dados em uma unidade de tempo. Vulgarmente, pode-se dizer que é a “largura do tubo” requerido para a aplicação comunicar sobre a rede.

Geralmente, uma conexão com garantias de serviços requer determinada largura de banda mínima da rede para si. Exemplifica-se, uma aplicação de voz digitalizada produz um fluxo de 64 kbps. Tal aplicação torna-se quase impraticável se ao longo do caminho houver um enlace com menos de 64 kbps.

Em termos práticos, as aplicações geram vazões (largura de banda) que devem ser atendidas pela rede. A Tabela 2.2 ilustra o consumo típico de banda por algumas aplicações:

Aplicação	Vazão (Típica)
Aplicações Transacionais	1 kbps a 50 kbps
Voz	10 kbps a 120 kbps
Aplicações Web (WWW)	10 kbps a 500 kbps
Vídeo (Streaming)	100 kbps a 1 Mbps
Aplicação Conferência	500 kbps a 1 Mbps
Vídeo MPEG	1 Mbps a 10 Mbps
Aplicação Imagens Médicas	10 Mbps a 100 Mbps
Aplicação Realidade Virtual	80 Mbps a 150 Mbps

Tabela 2.2: Largura de banda utilizada pelas aplicações [MAR 99]

Latência (Atraso)

A latência é um parâmetro importante para a qualidade de serviço das aplicações. O termo “latência” é convencionalmente mais utilizado para equipamentos e "atraso" para as transmissões de dados (por exemplo: atrasos de transmissão, atrasos de propagação). De maneira geral, a latência da rede pode ser entendida como o somatório dos atrasos impostos pela rede e equipamentos utilizados na comunicação. Do ponto de vista da aplicação, a latência resulta em um tempo de resposta, qual seja, tempo de entrega da informação para a aplicação.

Os principais fatores que influenciam na latência de uma rede são os seguintes:

- Atraso de propagação;
- Velocidade de transmissão;
- Processamento nos equipamentos.

O fator atraso de propagação corresponde ao tempo necessário para que o sinal elétrico ou óptico propague no meio que está sendo utilizado (fibras ópticas, satélite, coaxial), sendo também um parâmetro imutável sobre o qual o gerente de rede não tem nenhuma influência, para uma dada rede.

A Tabela 2.3 exemplifica alguns valores para o atraso de propagação entre cidades, numa rede WAN que utiliza fibras ópticas como meio físico de comunicação.

Trecho (Round Trip Delay)	Atraso de Propagação
Miami a São Paulo	100 mseg
New York a Los Angeles	50 mseg
Los Angeles a Hong Kong	170 mseg

Tabela 2.3: Atrasos de Propagação [MAR 99]

Já a velocidade de transmissão é um parâmetro controlado pelo gerente de rede que visa à adequação da rede à qualidade de serviço solicitada. Em se tratando de redes locais (LANs), as velocidades de transmissão são bastante elevadas, tendendo a ser tipicamente superiores a 10 Mbps por usuário, velocidade esta compartilhada ou dedicada, dependendo dos tipos de ativos de redes (*hub* ou *switch*).

Em redes de longa distância (redes corporativas estaduais e nacionais, redes metropolitanas e intranets metropolitanas), as velocidades de transmissão são dependentes da escolha de tecnologia de rede WAN (linhas privadas, *frame-relay*, satélite, *ATM* etc). Embora exista a possibilidade de escolha da velocidade adequada para garantia da qualidade de serviço, observam-se, neste caso, restrição e/ou limitações nas velocidades utilizadas, tipicamente devido aos custos mensais dispendidos na operação da rede. Além desse fator, observa-se também alguma restrição quanto à disponibilidade tanto da tecnologia quanto da velocidade de transmissão desejada. Em termos práticos, trabalha-se em WAN tipicamente com vazões da ordem de alguns *megabits* por segundo (Mbps) para grupos de usuários.

Logo, o uso de QoS é certamente mais crítico em redes MAN e WAN pelo somatório de dois fatores, ambos negativos:

- Trabalha-se com velocidades (Vazão) mais baixas;
- A latência (Atrasos) é muito maior quando comparada ao cenário das redes locais.

O terceiro fator que acentua a latência da rede é a contribuição de atraso referente ao processamento realizado nos equipamentos. Numa rede IP os pacotes são processados ao longo do percurso entre origem e destino por:

- Roteadores (comutação de pacotes);
- *LAN Switches* (comutação de quadros);
- Servidores de Acesso Remoto (RAS) (comutação de pacotes);
- *Firewalls* (processamento no nível de pacotes ou no nível de aplicação).

Considerando que a latência é um parâmetro fim-a-fim, os servidores colaboram para o atraso. Que depende de uma série de fatores, a saber:

- Capacidade de processamento;
- Disponibilidade de memória;
- Mecanismos de cachê;
- Processamento nas camadas de nível superior da rede (programa de aplicação e camadas acima da camada IP).

Em suma, observe-se que os servidores constituem também um fator importante para a Qualidade de Serviço e, em determinados casos, podem ser um

ponto crítico na garantia de QoS. Esta consideração é particularmente válida para equipamentos que têm a tarefa de atender as solicitações simultâneas de clientes em rede.

Jitter

O *jitter* também é um parâmetro importante para a Qualidade de Serviço. Tal parâmetro é necessário nas aplicações executadas em rede cuja operação adequada depende de alguma forma da garantia de que as informações (pacotes) devem ser processadas em períodos de tempo bem definidos. Este é o caso, por exemplo, de aplicações de voz sobre IP (*VoIP*) e aplicações de tempo real.

Do ponto de vista de uma rede de computador, o *jitter* pode ser entendido como a variação no tempo e na seqüência de entrega das informações (*Packet-Delay Variation*) devido à variação na latência (atrasos) da rede.

A rede e seus equipamentos impõem um atraso à informação (pacote), sendo este atraso variável em conseqüência de alguns fatores, quais sejam:

- Tempos de processamento diferentes nos equipamentos intermediários (roteadores, switches etc.);
- Tempos de retenção diferentes impostos pelas redes públicas (*Frame-relay, ATM, X.25, IP* etc).

A Figura 2.2 ilustra o efeito do *jitter* entre a entrega de pacotes na origem e o seu processamento no destino. Observe que o *jitter* causa não somente uma entrega com periodicidade variável como também a entrega de pacotes fora de ordem.

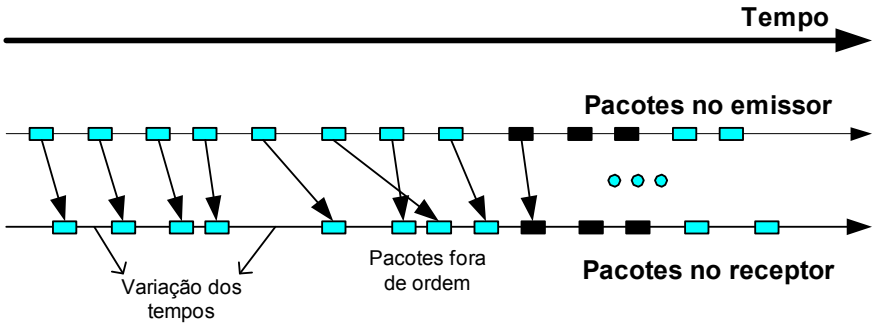


Figura 2.2: Efeito do *Jitter* para as Aplicações

A princípio, o problema dos pacotes fora de ordem poderia ser resolvido com o auxílio de um protocolo de transporte como o TCP (*Transmission Control Protocol*), que verifica o sequenciamento das mensagens e faze as devidas correções. Entretanto, na prática tem-se que a grande maioria das aplicações multimídia opta por utilizar o UDP (*User Datagram Protocol*) ao invés do TCP, pela maior simplicidade e menor *overhead* deste protocolo. Nesses casos, o problema de sequenciamento deve ser resolvido por protocolos de mais alto nível normalmente incorporados à aplicação, como o RTP (*Real Time Transfer Protocol* – Protocolo de transferência em tempo real).

Na recepção, o *jitter* introduz distorção no processamento da informação e deve ter mecanismos específicos de compensação e controle que dependem da aplicação. Genericamente, uma das soluções mais comuns para o problema consiste na utilização de *buffers* (Técnica de "*buffering"*).

Perdas de pacotes

As perdas de pacotes em redes IP ocorrem principalmente em função de fatores tais como:

- Descarte de pacotes nos roteadores e *switch routers* (Erros, congestionamento etc);
- Perda de pacotes devido a erros ocorridos na camada 2 (*PPP - Point-to-Point Protocol, ethernet, frame-relay, ATM* etc) durante seu transporte.

De maneira geral, as perdas de pacotes em redes IP constituem problema relevante para determinadas aplicações como, por exemplo, a voz sobre IP. Neste caso específico, a perda de pacotes com trechos de voz digitalizada implica numa perda de qualidade eventualmente não aceitável para a aplicação. Nos casos em que houver perdas de pacotes, proceder-se-á a uma análise específica de cada aplicação.

Do ponto de vista da qualidade de serviço da rede, a preocupação é, normalmente, quanto à especificação e garantia de limites razoáveis (Taxas de Perdas) que permitam uma operação adequada da aplicação.

2.3 Níveis de Qualidade de Serviço

Uma rede pode prover três níveis de QoS:

- Serviço de melhor esforço (*Best-effort service*), também conhecido como "sem QoS". Melhor esforço é o serviço básico de conectividade sem garantias;
- Serviço diferenciado (*Differentiated service*), também chamado de *soft QoS*, faz diferenciação de tráfegos para disponibilização de prioridades. Alguns tipos de tráfego são tratados melhor do que outros. Não existem garantias para esse tipo de serviço.
- Serviço garantido (*Guaranteed Service*), também chamado de *hard QoS*. Aqui tem-se uma absoluta reserva de recursos de rede para determinado tráfego. Esse tipo de serviço é provido, em sua maioria, nos equipamentos de núcleo das operadoras de telecomunicações.

A decisão de qual tipo de serviço é o apropriado em uma rede depende de vários fatores, dentre eles, os recursos que a aplicação requer.

2.3.1 Serviços Diferenciados – DiffServ

O objetivo de Qualidade de Serviço (QoS) é o de garantir entregas com serviços diferenciados em redes baseadas em IP. Garantias e serviços diferenciados provêem diferentes níveis de QoS e cada nível representa um modelo de arquitetura para as entregas de QoS.

Em 1998, com o objetivo de melhorar o protocolo IP a fim de obter qualidade de serviço, foi formado um grupo de trabalho dentro do IETF, chamado de *Diffserv* (Serviços Diferenciados). O *DiffServ* é uma ponte entre as requisições de garantias de QoS do modelo *IntServ* e o serviço oferecido atualmente pela Internet que é o de melhor esforço. O *DiffServ* provê a diferenciação de tráfego, classificando-o com relativo serviço de prioridade entre as classes de tráfego [VEG 02].

Com a estrutura da arquitetura *DiffServ*, os provedores de serviços oferecem a seus clientes uma variedade de serviços de rede baseados em classes de diferentes tipos de performance. O cliente pode escolher um nível de performance pacote a pacote, partindo do princípio de marcar o pacote com um valor específico

no campo DSCP (*Differentiated Services Code Point* – Código de Serviços Diferenciados) [VEG 02]. Para isso, é utilizado o campo DS (*Differentiated Services*) do cabeçalho IP, conforme a Figura 2.3, que nada mais é do que o campo ToS (*Type Of Service* – Tipo de serviço) do cabeçalho IPv4 [STE 94] ou o campo "classe de tráfego" do IPv6.

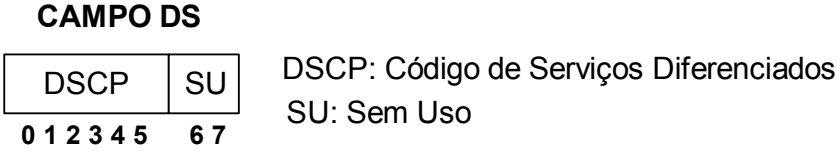


Figura 2.3: Campo ToS do cabeçalho IP

A configuração do campo DS pela aplicação, com um valor específico, determinará o comportamento do pacote na rede e seu tipo de serviço, ou seja, se ele terá maior ou menor prioridade [VEG 02].

O valor padrão do DSCP é definido como zero (seis bits - 000 000). Para manter a compatibilidade com os níveis de prioridade do IP Precedência, os 3 primeiros bits do byte DS (ToS – bit 0-2) foram preservados [NIC 98], conforme a Tabela 2.4.

Seleção de Classe	Campo DSCP
Precedência 1	001 000
Precedência 2	010 000
Precedência 3	011 000
Precedência 4	100 000
Precedência 5	101 000
Precedência 6	110 000
Precedência 7	111 000

Tabela 2.4: Valores binários para os níveis de Precedência IP [VEG 02]

A idéia fundamental dos Serviços Diferenciados é a definição de um conjunto pequeno de mecanismos que possam ser implementados nos nós da rede, suportando grande variedade de serviços. Os Serviços Diferenciados são oferecidos

no interior de um domínio de Diferenciação de Serviços (domínio DS). Este domínio é composto por um conjunto de nós que compartilham da mesma política de serviços. O domínio DS mostrado na Figura 2.4 provê a Diferenciação de Serviços somente em uma direção, sendo assim, unidirecional.

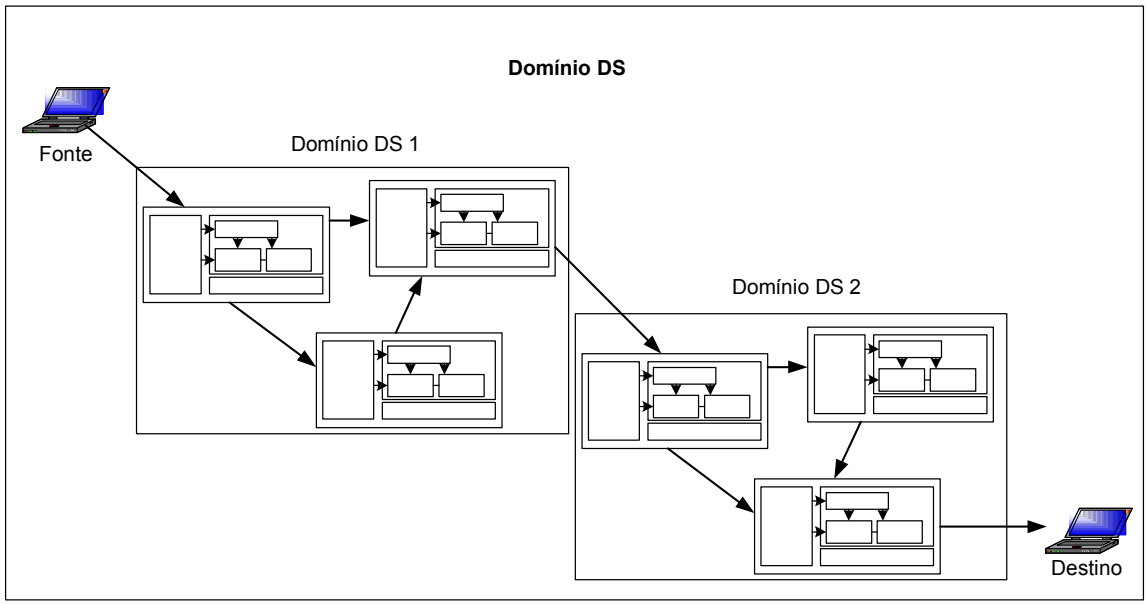


Figura 2.4: Domínio de Diferenciação de Serviços

Em todos os roteadores que trabalham com Diferenciação de Serviços, o código contido no sub-campo DSCP é mapeado em um Comportamento por Enlace, chamado de PHB (*Per Hop Behavior*) e que define o tratamento a ser dado ao pacote [VEG 02].

Um nó DS é aquele capaz de suportar os serviços e comportamentos previamente definidos. Um domínio DS corresponde a um conjunto de nós DS trabalhando com a mesma política de serviços. Em um domínio DS existem os nós de fronteiras e os nós internos. Os nós de fronteiras exercem a função de condicionamento de tráfego baseado em um Contrato de Condicionamento de Tráfego (*Traffic Conditioning Agreement* - TCA). O TCA estabelece o perfil de tráfego contratado, que especifica as características do tráfego, os prazos, as cobranças e as multas em caso de descumprimento das garantias oferecidas como, por exemplo, quando a banda passante contratada for diferente da realmente assegurada.

A arquitetura do *DiffServ* apenas especifica o mecanismo básico do modo através do qual podem ser tratados os pacotes. Pode-se construir uma variedade de serviços usando esses mecanismos. Um serviço define várias características significativas na transmissão do pacote ao longo do caminho da rede como vazão, latência, *jitter* e perdas de pacotes. Em adição, pode-se caracterizar um serviço em termos de prioridade de acesso para os recursos da rede. Após a definição de um serviço, um PHB é especificado para todos os nós da rede e um DSCP é atribuído ao PHB.

Portanto, um PHB é um observador externo que tem a incumbência de encaminhar todos os pacotes com o valor específico do DSCP para os nós da rede [VEG 02].

2.3.2 Comportamento no Domínio de Serviço (PHB)

A referência a PHB diz respeito ao comportamento que cada nó presente num domínio DS deve ter para que efetivamente haja um Serviço Diferenciado para o cliente. Os PHBs variam em função do serviço contratado, como por exemplo, reserva de recursos como *buffer* e largura de banda, como também em função das características de tráfego, como perdas e retardo. Os elementos funcionais de condicionamento de tráfego incluem medidores, marcadores, suavizadores e policiadores.

A Figura 2.5 exemplifica o diagrama em blocos do funcionamento de um condicionador de tráfego [BLA 98]:

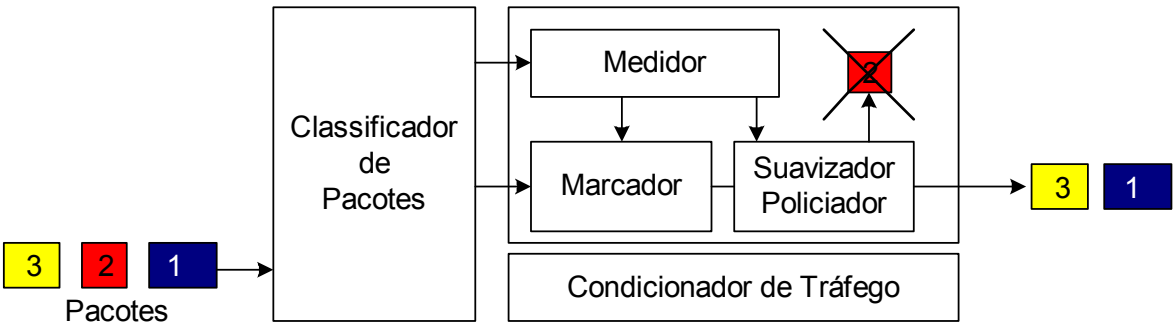


Figura 2.5: Condicionador de Tráfego

Os medidores são responsáveis pela verificação do fluxo de pacotes conforme o contratado, evitando que um determinado assinante use mais banda do que solicitou, comprometendo assim a eficiência da rede para os demais usuários. Por meio do seu resultado é que os demais elementos trabalharão.

O marcador altera o valor do campo DSCP do pacote [VEG 02].

O suavizador retém pacotes quando a sua taxa é superior à taxa contratada. O *buffer* presente no suavizador é de tamanho limitado, podendo assim acontecer descartes quando essa fila estiver cheia.

Já o policiador descarta automaticamente pacotes que excedam ao perfil contratado. Os pacotes fora de perfil podem ser tratados de formas distintas, podendo ser remarcados para um perfil inferior ou simplesmente descartados.

Essas funções do condicionador de tráfego geralmente estão presentes nos nós de entrada e saída de um domínio DS.

O serviço de marcação de pacotes torna-se mais eficiente se for feito antes mesmo da entrada em um domínio DS. Como somente o gerador de tráfego sabe qual a importância de cada pacote, ele mesmo pode marcá-los, evitando os descartes indiscriminados dos roteadores de fronteira.

PHB Padrão

O PHB padrão é um comportamento correspondente ao melhor esforço. Esse PHB é utilizado quando um pacote, sem nenhuma marcação especial no seu Código de Diferenciação de Serviço (DSCP) ingressa em um domínio DS. Assim, usuários que não contrataram nenhum serviço especial podem continuar utilizando a infra-estrutura da rede.

O código DSCP padrão recomendado para esta situação é 000 000 [VEG 02].

Encaminhamento Expresso (PHB-EF)

O PHB de Encaminhamento Expresso tem como diretriz básica diminuir o tempo de permanência em filas dos pacotes em trânsito. Para isso, garante que a taxa de serviço contratada seja maior do que a taxa de chegada em todo o instante.

Essa garantia deve ser tal que independa de outros fluxos que cheguem no nó. Para isso, os roteadores de entrada em um domínio DS devem policiar o ingresso de pacotes conforme o contratado, evitando o uso abusivo da rede.

A implementação de um PHB-EF pode ser realizada por meio de um mecanismo de escalonamento de filas nos moldes do mecanismo de fila prioritária. Em testes de simuladores chegou-se à conclusão que, para o sistema funcionar de forma estável, é necessária a alocação de uma banda aproximadamente 6% superior à banda efetivamente contratada [JAC 99].

O código DSCP padrão recomendado para esta situação é 101 110 [JAC 99].

Encaminhamento Assegurado (PHB-AF)

O PHB de Encaminhamento Assegurado é um pouco diferente do modelo anterior, já que ao invés de fornecer uma garantia estrita, fornece apenas uma expectativa de serviço quando a rede passar por momentos de congestionamento. Em outras palavras, o contratante terá garantias mínimas (em função do que foi estabelecido em contrato) nos horários de pico de uso da rede.

Quando a rede está congestionada, um roteador recebe mais pacotes do que é capaz de tratar. Com isso, pacotes são armazenados em uma fila e poderão ser descartados.

Os descartes são definidos em 3 (três) níveis de serviço, cada nível contendo 4 (quatro) classes de precedência, totalizando 12 (doze) possíveis códigos para o DSCP [VEG 02], conforme tabela a seguir:

Precedência de Descarte	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Baixo	001010	010010	011010	100010
Médio	001100	010100	011100	100100
Alto	001110	010110	011110	100110

Tabela 2.5: Níveis de precedência de descartes – PHB-AF [HEI 99]

No PHB-AF, um mecanismo de controle de tráfego atua nas fronteiras do domínio DS, marcando os pacotes em função da sua prioridade. A garantia oferecida

é quanto aos pacotes marcados como de alta prioridade, que têm uma grande probabilidade de serem entregues com êxito, desde que o sistema esteja dentro do valor combinado.

O usuário pode exceder a taxa de transmissão, mas fica ciente de que tais pacotes não terão alta probabilidade de sucesso na entrega. O mantenedor do domínio DS pode oferecer diferentes níveis de garantia no encaminhamento dos pacotes IP. Um pacote IP pode ser marcado com até três níveis de precedência de descarte. Tal precedência determina a "importância" do pacote.

O PHB-AF procura minimizar os congestionamentos de longa duração, admitindo, porém, os de curta duração. Para a realização desse procedimento, é necessário um algoritmo, tendo em vista o gerenciamento ativo de filas. Um mecanismo de gerenciamento ativo de filas bastante utilizado é o RED (*Random Early Detection*), o qual será apresentado no item 2.4.1 – Gerenciamento de Congestionamento (página 24).

Os PHBs oferecem garantias estatísticas, cabendo ao domínio DS garantir que os recursos são suficientes para atender aos fluxos individuais de seus clientes dentro dessa agregação. O PHB-EF realiza uma alocação explícita de recursos para sua agregação de fluxos, e, por isso, deve ter um maior custo final para o cliente. O PHB-AF oferece garantias estatísticas de banda passante e seus mecanismos de gerenciamento ativo de filas visam ao controle dos fluxos adaptativos. Este serviço pode ser oferecido a um custo menor aos clientes.

A convivência de ambos PHBs e o tráfego de melhor esforço em um mesmo domínio é possível. Todavia, a fila AF possui o maior valor de precedência de descarte possível.

Um dos serviços que podem ser oferecidos pela arquitetura de Diferenciação de Serviços é o de tráfego diferenciado de pacotes de voz e de vídeo. Esse tráfego, que desponta nas aplicações multimídia, possui requisitos de QoS raramente atendidos na Internet atual, sendo a principal alavancadora da tecnologia.

2.4 Funções Vitais nos Limites da Rede

As tarefas de classificar e marcar pacotes e gerenciar o tráfego são funções vitais de condicionamento de tráfego no limite da rede para entrega de serviços diferenciados em um domínio de rede.

Classificação dos pacotes

Os roteadores de borda da rede realizam funções de classificação de pacotes para identificar quais pertencem a uma determinada classe de tráfego, baseados em um ou mais campos do cabeçalho TCP/IP.

Os diferentes tipos de classificação podem ser:

- Identificação pelo cabeçalho IP, quais sejam: endereço IP de origem ou de destino, protocolo, número da porta de origem e número da porta de destino;
- Identificação baseada no IP precedência ou no campo DSCP;
- Identificação baseada em outros parâmetros do cabeçalho IP, como o tamanho do pacote;
- Identificação baseada no endereço MAC (Endereço físico do dispositivo).

Marcando os Pacotes

Pode-se marcar um pacote para indicar a classe de tráfego a que pertence, por meio da precedência do IP ou através do campo DSCP no cabeçalho IP.

O campo de IP precedência no cabeçalho IP é usado para indicar uma prioridade relativa que um particular pacote deveria ter. Isso é feito com os 3 (três) bits de mais alta ordem do byte do campo ToS (Tipo de Serviço) do cabeçalho IP. Os bits do ToS foram designados para conter valores que indicassem como cada pacote deveria trafegar na rede, entretanto, esse campo nunca foi usado de fato [VEG 02]. A Figura 2.6 ilustra o byte ToS do cabeçalho IP.

. Precedência IP: 3 bits (P2-P0)
. Tipo de Serviço (ToS): 4 bits (T3-T6)
. Sem uso (SU): 1 bit

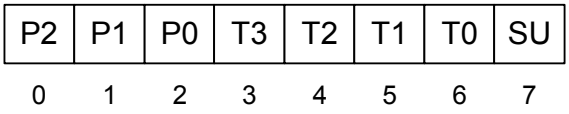


Figura 2.6: Byte ToS

Quanto maior o nível de classificação do pacote, maior será a prioridade no tratamento e alocação de recursos da rede. Os níveis 6 (seis) e 7 (sete) são reservados para as aplicações de controle e gerência da rede, ou seja, não é recomendado habilitar um pacote com valor 6 ou 7, tampouco modificar um pacote já marcado. Por padrão, todos os pacotes são normalmente marcados com o nível zero [VEG 02].

A Tabela 2.6 mostra as valores do IP precedência.

Valor	Bits	Descrição
0	000	Precedência Padrão (Rotina)
1	001	Precedência Prioridade
2	010	Precedência Prioridade Imediata
3	011	Precedência Relâmpago (Flash)
4	100	Precedência Super Relâmpago
5	101	Precedência Crítica
6	110	Precedência Controle Inter-Redes (Internetwork control)
7	111	Precedência Controle de Rede

Tabela 2.6: Descrição dos Bits do precedência IP

2.4.1 Gerenciamento de Congestionamento

Com o objetivo de cuidar do excesso de tráfego, congestionamento da rede, utilizam-se algoritmos de enfileiramento e alguns métodos de priorização de saída. Dentre os algoritmos de filas, exemplificam-se:

- Fila FIFO – primeiro a entrar, primeiro a sair (*First-in, first-out*);
- Fila de Prioridade (*Priority queuing*);
- Fila Customizada (*Custom queuing*);
- Fila justa baseada na sobrecarga (WFQ - *Weighted Fair Queuing*).

Os diversos tipos de algoritmos de filas foram desenvolvidos para resolver um problema particular específico de tráfego de rede, que, conseqüentemente, faz com que seja afetada a performance da rede.

Tendo em vista o melhor resultado de performance, faz-se necessário um estudo da aplicação com o algoritmo de enfileiramento que se deseja utilizar. Quando a rede não está congestionada, pode-se utilizar qualquer algoritmo de enfileiramento porque não existe fila nos roteadores. Entretanto, caso ocorra o congestionamento, mecanismos de enfileiramento determinarão a ordem que os pacotes serão atendidos.

Para a obtenção de QoS, o mínimo necessário é a diferenciação entre os diversos pacotes da fila, o nível de serviço de cada um, fazendo com que certos pacotes tenham prioridade sobre outros.

A teoria das filas é baseada no simples fato de que, freqüentemente, os recursos para transmissão são escassos, ou seja, o cliente requisita um serviço e este não pode ser imediatamente atendido. Devido a essa impossibilidade, o cliente deve esperar numa fila o atendimento. O objetivo dessa teoria é determinar como atender ou qual a melhor maneira de atender aos clientes que estão na fila.

FIFO

O tipo de fila FIFO tem a capacidade básica de armazenar e encaminhar os pacotes. É a forma mais simples de enfileiramento e a mais utilizada nos roteadores atualmente. A ordem em que o pacote chega na fila é a mesma em que o pacote sai. Quando a rede está congestionada, os pacotes são armazenados e, quando não estiver, os pacotes serão encaminhados por ordem de chegada.

A fila FIFO não decide sobre a prioridade do pacote. A ordem de chegada dos pacotes determina a largura de banda e a distribuição dos recursos. Com isso, determina-se se a rede poderá ou não lidar com certa carga, antes de realizar os

investimentos necessários para colocá-la no ar ou implementar as mudanças, minimizando os problemas causados pelo mau planejamento de uma rede.

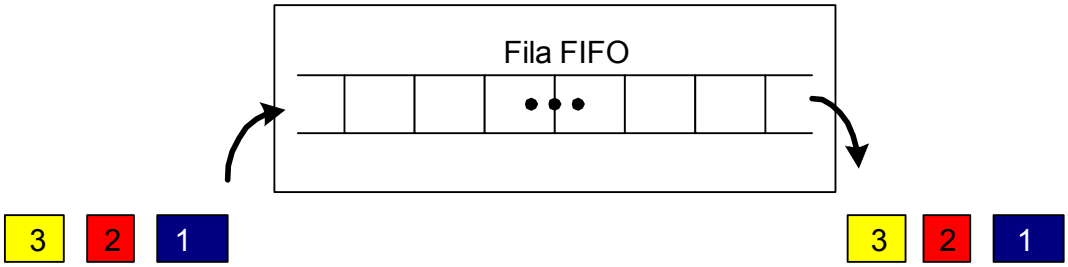


Figura 2.7: FIFO - Primeiro a entrar, primeiro a sair.

O enfileiramento FIFO foi um primeiro passo necessário rumo ao controle do tráfego de rede, mas atualmente as redes necessitam de algoritmos mais sofisticados.

Distribuição Justa entre o Mínimo e o Máximo

Se o modelo FIFO não faz o compartilhamento justo de distribuição entre os fluxos, como definir um esquema de alocação justa, onde cada fluxo adquire sua parte de recursos? Um modelo proposto amplamente aceito no esquema de distribuição é o denominado sistema de compartilhamento justo entre o mínimo e o máximo [VEG 02].

Normalmente, os recursos utilizados pelos usuários diferem-se. Diante disso, é possível classificar o tráfego dos usuários por ordem de demanda, aumentando os recursos necessários. A distribuição é definida da seguinte maneira:

- Recursos são alocados de acordo com a demanda;
- Nenhum usuário recebe mais recursos do que a sua demanda;
- Usuários insatisfeitos podem receber recurso igual à sua demanda.

Exemplificando: Considere um equipamento que possua recurso de processamento de capacidade igual a 14 unidades, servindo a 5 usuários (A, B, C, D e E), com demandas de recursos de 2, 2, 3, 5 e 6 unidades, respectivamente.

Inicialmente, os recursos são repartidos entre os usuários em partes iguais, dividindo o total da capacidade de recursos pelo total de usuários, conforme Figura 2.8. Neste caso, os usuários A e B receberão 2.8 (14/5) unidades de recursos. Mas,

os usuários A e B atualmente necessitam somente de 2 unidades de capacidades de recursos. Desse modo, o excesso de recurso 1.6 e 0.8 dos usuários A e B respectivamente, repartir-se-ão entre os outros 3 usuários.

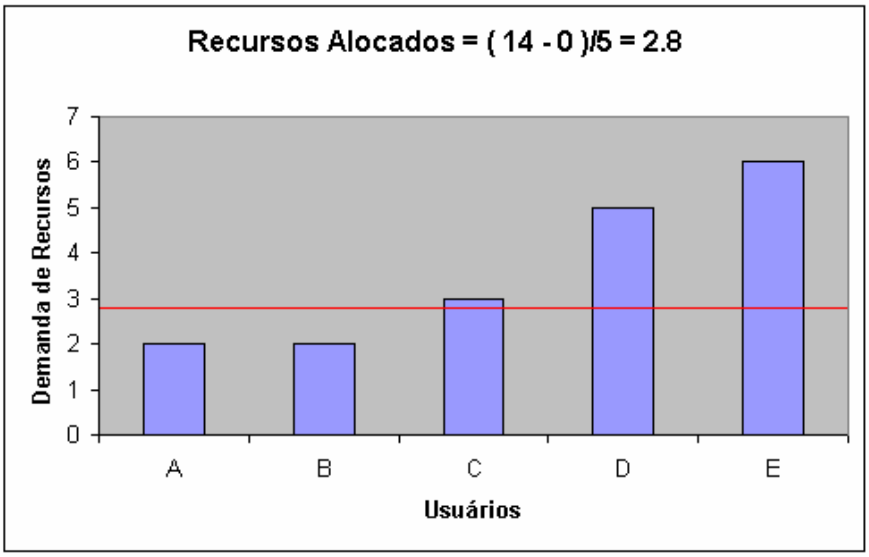


Figura 2.8: Recursos alocados para o usuário A e B

Portanto, os usuários C, D e E ganham 0,53 unidades de recursos (Figura 2.9), passando para 3.33 (2.8 + (1.6/3)). Agora, os próximos usuários com menor demanda são servidos. Neste caso, é o usuário C.

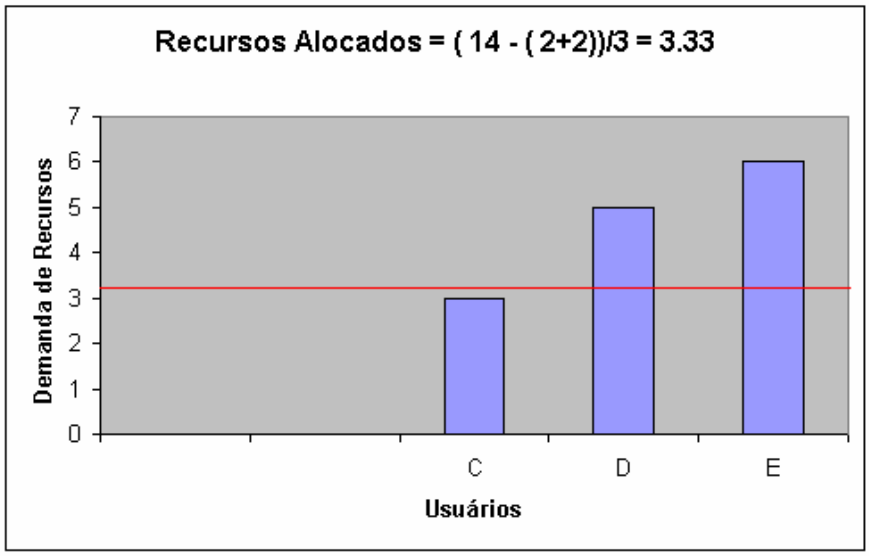


Figura 2.9: Recursos Alocados para o usuário C

O recurso alocado para “C” possui um excesso de 0.33 unidades e sua demanda é somente de 3 unidades. O excesso é distribuído entre o usuário D e E, que passam a ter, deste modo, 3.5 unidades de recursos (3.33 + (0.33/2)), e assim por diante (Figura 2.10).

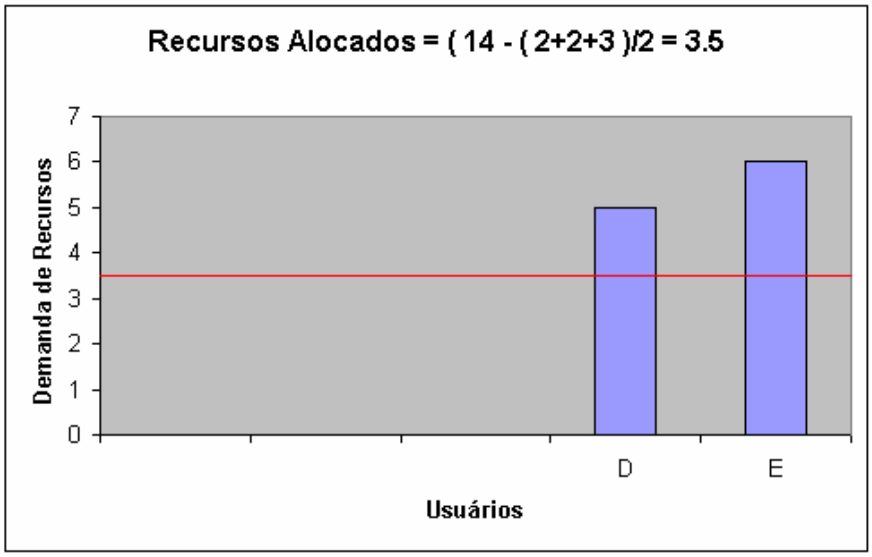


Figura 2.10: Recursos Alocados para o usuário D e E

A Figura 2.11 exemplifica o cálculo da distribuição de recursos:

$$\text{Distribuição de Recursos} = \frac{\text{Capacidade total de recursos} - \text{Capacidade de recursos já alocados}}{\text{Número de usuários de irão precisar de recursos}}$$

Figura 2.11: Fórmula para cálculo de distribuição de recursos

Processo de Compartilhamento de Recursos

Para o fluxo de tráfego baseado no melhor esforço e outro fluxo de classes baseado no peso, a correta disciplina de organização é a que provê justiça conforme a distribuição entre mínimo e o máximo. O Processo de Compartilhamento Genérico (GPS – *Generalized Processor Sharing*) é o ideal para o mecanismo de organização e para alcançar esses objetivos.

O GPS coloca cada fluxo em sua respectiva fila lógica e serve com uma quantidade pequena de dados às filas que não estão vazias, por meio do algoritmo *Round-Robin*. Isso se repete enquanto houver filas não vazias, permitindo assim, o equilíbrio de tempos em que são servidas. Se houver associação de um peso por fluxo, em cada ciclo do Round-Robin, o GPS servirá uma quantidade de dados proporcional ao peso associado.

Escalonamento *Round-Robin*

O algoritmo de escalonamento *Round-Robin* é um dos mais antigos, sendo simples, justo e o mais usado. Foi projetado especialmente para sistemas de tempo compartilhado. É semelhante ao escalonamento do tipo FIFO, mas a preempção é acrescentada para que seja feita a alternância entre os processos da seguinte forma: uma pequena unidade de tempo, chamada quantum de tempo, ou fatia de tempo, é definida. Um quantum geralmente é de 10 a 100 milissegundos. A fila de processos prontos é tratada como uma fila circular. O escalonador de CPU percorre a fila de processos prontos, alocando a CPU a cada processo por intervalo de tempo de até 1 (um) quantum de tempo [SIL 00b].

Para implementar o escalonamento Round-Robin, a fila de processos prontos é mantida como uma fila FIFO. Novos processos são adicionados ao final da fila. O escalonador de CPU seleciona o primeiro processo da fila, define um temporizador para interromper depois de 1 quantum e submete ao processo.

Fila de Prioridade – Priority Queueing

Uma modificação primordial da Fila de Prioridade em relação à estrutura básica do modelo FIFO é a criação de um número distinto de filas para cada interface, junto à associação de um relativo nível de prioridade.

Numa Fila de Prioridade (PQ–*Priority Queueing*), ou enfileiramento prioritário, o tráfego de entrada é classificado em quatro níveis: alta, média, normal e baixa. Por padrão, os pacotes não classificados são marcados como normal.

Durante a transmissão, o tráfego classificado e marcado como prioritário tem preferência absoluta. Por isso, esse método deve ser utilizado com cuidado, para

evitar longos atrasos e aumento de *jitter* nas aplicações de menor prioridade. Num caso extremo, o tráfego de menor prioridade pode até nunca ser transmitido, se o de maior prioridade tomar toda a banda. Isso pode acontecer em conexões de baixa velocidade. Ademais, a fila padrão sempre tem que ser habilitada, caso contrário, todo o fluxo não classificado também poderá não ser enviado.

Para resolver isso, deve utilizar-se de políticas que restrinjam a quantidade de tráfego para uma prioridade alta ou que o algoritmo organize as classes de prioridade com algum nível mínimo de distribuição de recurso.

A Figura 2.12 ilustra o funcionamento do modelo PQ.

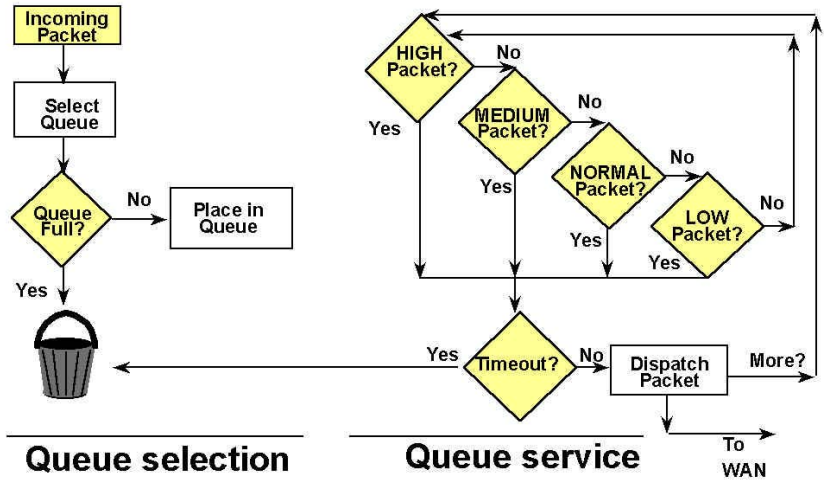


Figura 2.12: Fluxograma de funcionamento de enfileiramento PQ [SIL 00a]

Fila Customizada – *Custom Queueing*-CQ

O algoritmo da fila CQ (*Custom Queueing*) permite especificar uma percentagem da banda para determinada aplicação (alocação absoluta da banda). A banda reservada é compartilhada proporcionalmente, no percentual pré-definido, entre as aplicações e os usuários. O restante da banda é compartilhado entre os outros tipos de tráfego. O percentual é definido através de cálculos matemáticos, onde se encontra um valor de contador de byte, o qual é associado ao percentual proposto. Na seção 3.4, são apresentados os detalhes para o cálculo do contador de byte.

O algoritmo CQ controla o tráfego alocando uma determinada parte da fila para cada fluxo classificado. As filas são ordenadas ciclicamente num esquema *round-robin*, onde, para cada uma, é enviada a quantidade de pacotes referente à parte da banda alocada, antes de passar para a fila seguinte. Associado a cada fila, há um contador configurável que estabelece quantos bytes devem ser enviados antes da passar para a próxima fila. Mas, caso a quantidade de byte seja atingida e ainda restem bytes do pacote a transmitir, o algoritmo conclui o envio do pacote para então passar para a próxima fila.

O roteador, portanto, envia pacotes de uma determinada fila até que o contador de bytes se exceda. Quando o valor do contador de bytes for excedido, o pacote corrente será transmitido por completo, de tal maneira que, ao configurar o contador de byte para 100 bytes e o tamanho do pacote que for enviado tiver 1024 bytes, todo o tempo necessário para a transmissão dos 1024 bytes será utilizado.

A Figura 2.13 exemplifica o funcionamento do modelo CQ.

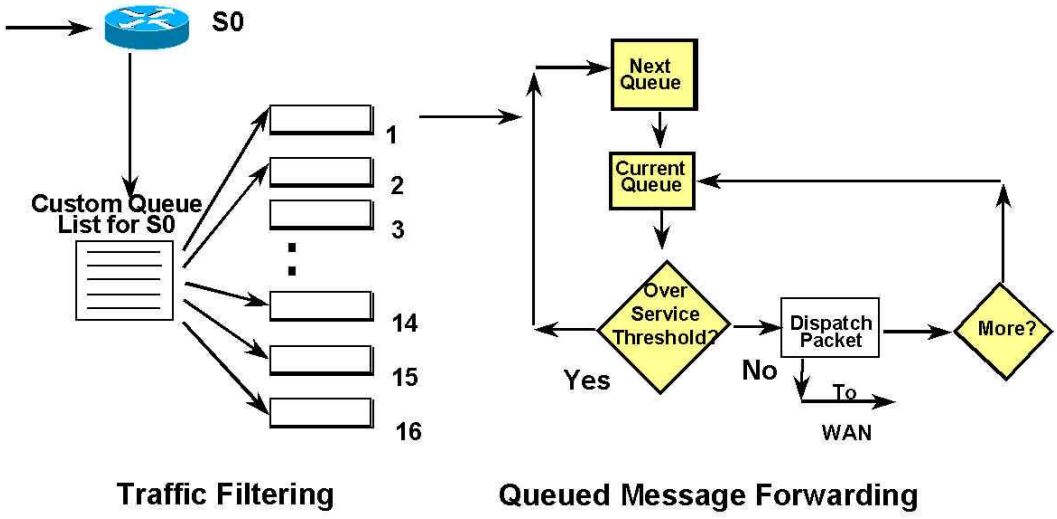


Figura 2.13: Fluxograma de funcionamento do Enfileiramento CQ [SIL 00a]

Até 17 filas podem ser definidas, de zero a 16. A fila zero, conhecida também como “fila do sistema”, possui alta prioridade e é reservada para mensagens do sistema como sinalização, *keep-alive* etc. Tal fila não será utilizada para a classificação de tráfego de usuário. A classificação CQ pode ser feita por endereço

fonte ou destino, por protocolo (IP, IPX, Appletalk, SNA, DecNet, etc), precedência IP, interface de entrada, e por listas de acesso.

Fila Justa Baseada no Peso (WFQ)

A WFQ (*Weighted Fair Queuing*), significa Fila Justa baseada logicamente na sobrecarga ou no peso. O algoritmo WFQ oferece, dinamicamente, a divisão da largura de banda para as filas, de acordo com os seus pesos. Ele assegura que todo o tráfego é tratado de maneira equânime, conforme o seu peso. Cada fluxo, ou classe, é associado a um peso e a taxa do fluxo ou a classe do tráfego é servida proporcionalmente ao peso associado. A Figura 2.14 ilustra o esquema de funcionamento do modelo.

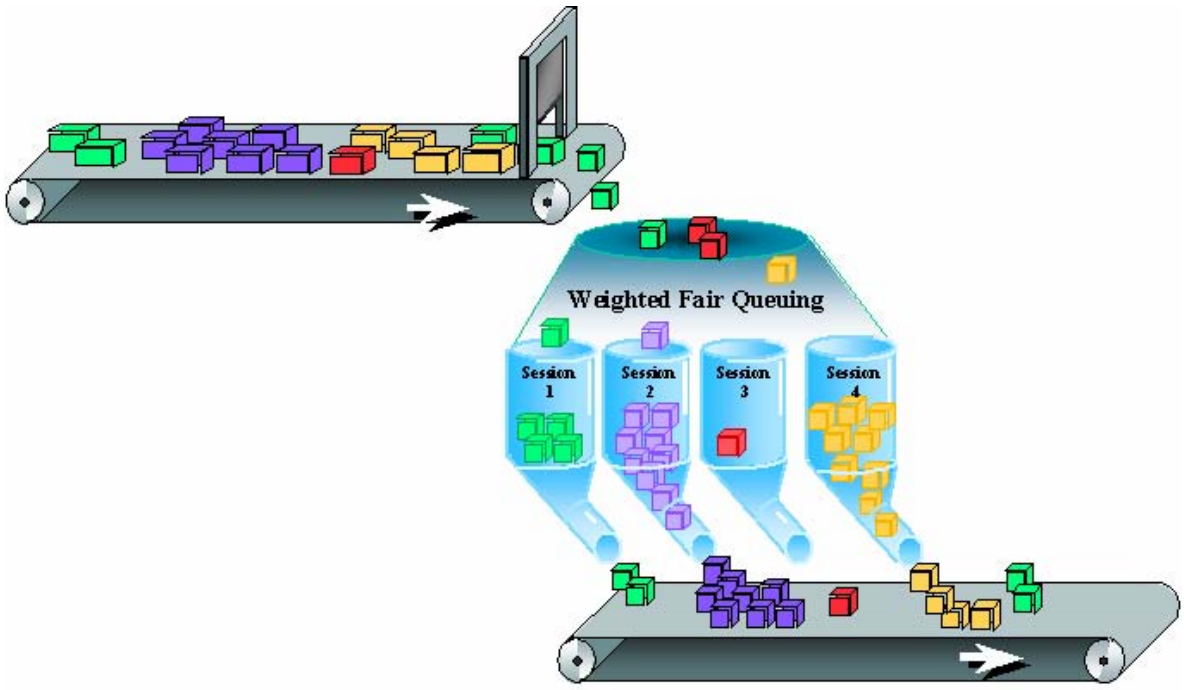


Figura 2.14: Esquema de funcionamento do WFQ [SIL 00a]

A WFQ coloca no início da fila o tráfego que tem maior prioridade, reduzindo o tempo de resposta desse fluxo (Figura 2.16). Concomitantemente, o WFQ compartilha banda com outros fluxos de menores prioridades, porém alocando uma

menor largura de banda, já que os de menor prioridade têm também menor peso junto ao WFQ.

O WFQ evita que as filas cheguem a uma situação de “morte” por falta de recursos, dando ao tráfego um serviço previsível. Tráfegos de baixo volume recebem o serviço preferencial (Figura 2.15), garantindo sua banda, ao passo que tráfegos de volume mais alto recebem a capacidade restante. Esse mecanismo garante pouco *jitter* e a divisão da banda entre as diversas aplicações. O enfileiramento justo é conseguido mediante o uso do endereço da fonte e do destino do fluxo, tipo de protocolo ou número de porta.

Exemplificando o modelo por meio da Figura 2.15, é concedido a cada fila um número de seqüência atribuído aos pacotes conforme o tamanho dos mesmos. Cada fila possui inicialmente um número de seqüência igual a 100. A medida em que os pacotes entram da fila do roteador um novo número de seqüência é atribuído (Número de seqüência = Número de seqüência + tamanho do pacote). Os pacotes A, B e C possuem tamanho de 128, 64 e 32 bytes respectivamente.

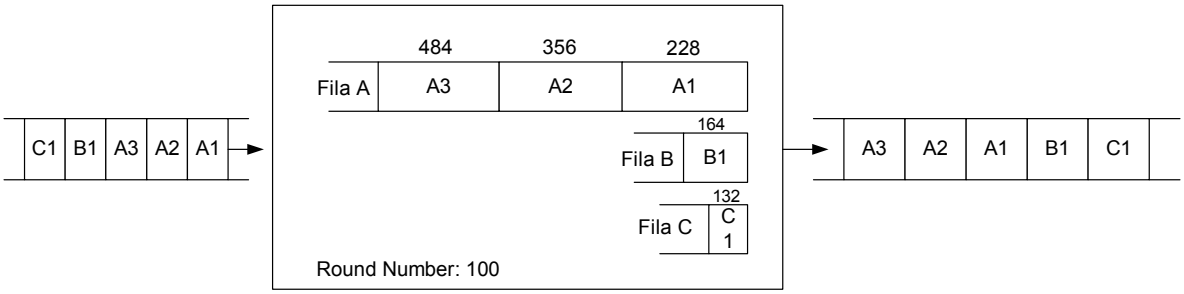


Figura 2.15: Exemplo de enfileiramento WFQ

Caso seja associado um peso a cada fila, o número de seqüência é calculado da seguinte forma:

- Número de seqüência = (tamanho do pacote * Peso + número de seqüência)
- PESO=4096/(IP PRECEDÊNCIA +1) [VEG 02].

Supondo que a fila A tenha um IP precedência de valor 5 e as filas B e C com valor do IP precedência zero, desta forma, a nova fila WFQ é servida conforme a Figura 2.16.

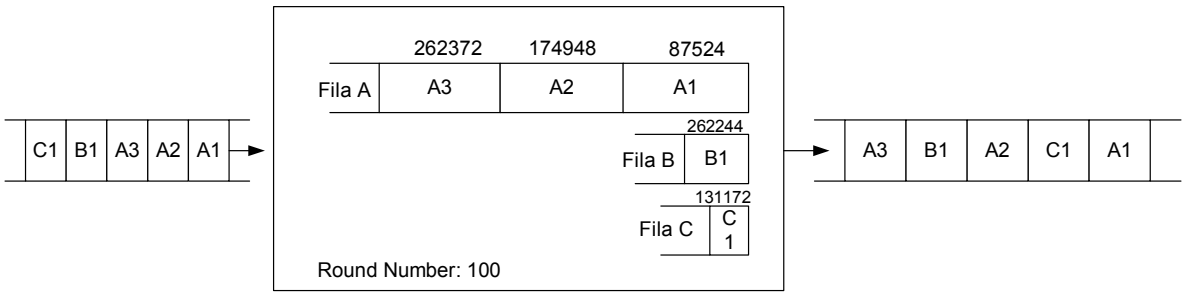


Figura 2.16: Exemplo de enfileiramento WFQ com peso

O peso no WFQ vem de diversas fontes. O campo de precedência do cabeçalho IP afeta o peso de uma dada conversação, bem como o montante de vazão que um determinado fluxo possui. O peso de um fluxo é inversamente proporcional à quantidade de banda por ele consumida. Assim, quanto mais alta a precedência, menor é o peso.

O algoritmo WFQ da Cisco possui três modelos: o modelo baseado no fluxo (*Flow-based Weighted Fair Queueing*), que é o WFQ propriamente dito; o modelo baseado em fluxo para processadores de placa VIP (DWFQ – *VIP-Distributed Weighted Fair Queueing*); e o modelo baseado em classes (*Class-Based Weighted Fair Queueing*).

Como o modelo DWFQ é baseado em placa VIP (*Versatile Interface Processor*), este é aplicado somente em roteadores de grande porte (Core), como os roteadores da série 7500 da Cisco.

Com o modelo CBWFQ é possível configurar até 64 classes de tráfego, além de controlar a distribuição da banda para cada uma de suas classes. O CBWFQ também permite que seja alocada uma quantidade exata da largura de banda para uma determinada classe de tráfego. De acordo com as recomendações, o somatório das quantidades de todas as classes definidas da largura de banda não deve exceder a 75%. Os 25% restantes são utilizados para controle e outros tipos de tráfego, como o de melhor esforço (*best-effort*). O peso associado pode ser definido por intermédio da largura de banda, da percentagem da largura de banda ou da largura de banda disponível.

A Detecção RED

A detecção RED – *Random Early Detection* (detecção randômica antecipada) é um mecanismo para prevenção e inibição de congestionamento. O algoritmo monitora o tráfego antecipadamente, utilizando as funções de controle de congestionamento do protocolo TCP, descartando pacotes aleatoriamente e indicando para que a fonte reduza a taxa de transmissão, a fim de evitar situações de congestionamento, antes que ocorram picos de tráfego.

Quando a fonte de tráfego detecta que um de seus pacotes foi perdido, automaticamente reduz sua taxa de transmissão para evitar mais perdas no futuro. Da mesma forma, quando nenhum pacote é perdido, a fonte aumenta sua taxa de transmissão para usar mais eficientemente os recursos da rede.

O mecanismo RED monitora as filas dos roteadores e em caso de congestionamento eminente, ou seja, filas demasiadamente ocupadas, ele gera um descarte de pacote. Esse descarte deve ser interpretado pela fonte como um aviso para diminuir a sua taxa de transmissão. O mecanismo RED descarta pacotes antes dos roteadores convencionais para que as fontes reduzam suas taxas de transmissão, objetivando minimizar um descarte maior, caso a fila fique completamente cheia, pois, neste caso, vários pacotes seriam perdidos em seqüência.

Capítulo 3

3 Experimentos de QoS para Redes Corporativas

Neste capítulo é apresentada a realização de testes práticos, mediante os recursos de Qualidade de Serviço (QoS) disponíveis para as redes corporativas.

Os testes foram realizados sob diferentes cenários, sendo que para cada cenário foi aplicado um modelo de QoS diferente. Desta forma, além de destacar os pontos positivos e negativos dos modelos apresentados, o leitor terá um embasamento teórico e prático para a devida implementação das técnicas de QoS enfocadas.

Em virtude dos conhecimentos viabilizados pelos experimentos, será possível discernir o método aplicável em determinadas redes corporativas.

Dentre os modelos de QoS, foram realizados testes com os seguintes modelos:

- Melhor Esforço (Best-Effort);
- Fila de Prioridade (PQ - Priority Queue);
- Fila Customizada (CQ - Custom Queue);
- Fila Baseada no Peso (WFQ - Weight Fair Queue).

3.1 Especificações e características dos recursos

Com o objetivo de interligar duas redes via comunicação serial por intermédio de um enlace WAN, foi disponibilizada pela Brasil Telecom S.A, uma estrutura mínima necessária de *hardware* e *software*, conforme a seguir:

- 2 Roteadores Cisco modelo MC3810;
- 1 HUB 3Com 24 Portas 10Mb;
- 2 Cabos Seriais V.35 – (1 DTE e outro DCE);
- 2 Aparelhos Telefônicos;
- 1 Analisador de protocolo (HP-Analizer) com interface V.35;
- 3 Computadores PC – Pentium, como servidor de FTP;
- 1 Notebook Pentium;
- 1 Câmera de Rede.

O desenho esquemático abaixo, representado pela Figura 3.1, mostra a interligação dos recursos disponíveis.

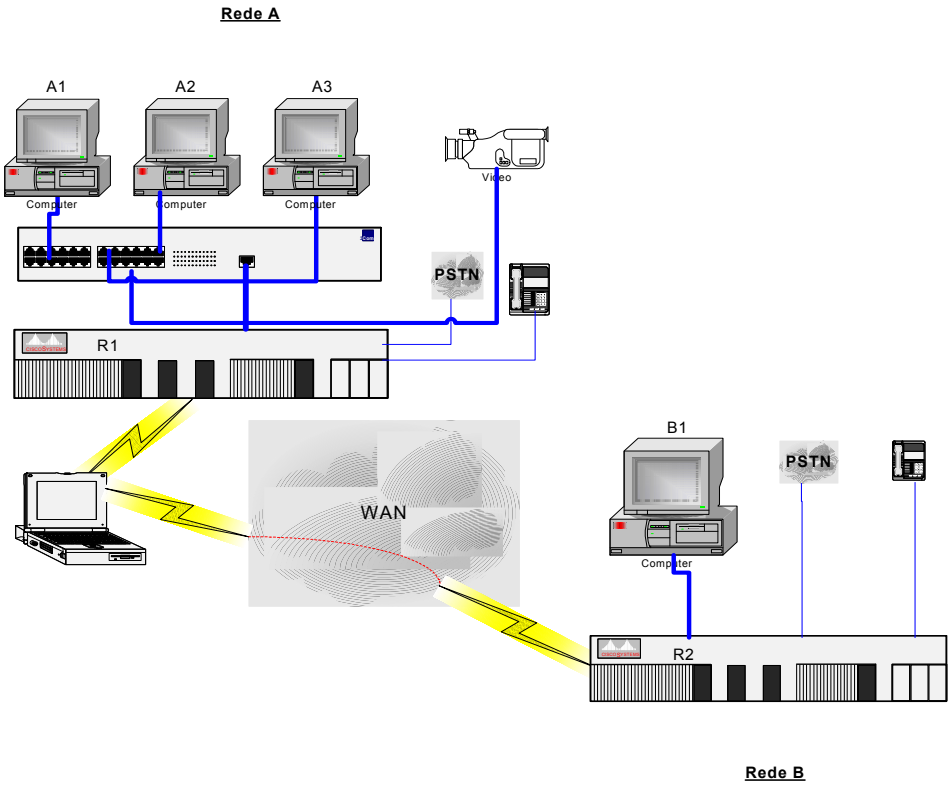


Figura 3.1: Topologia da rede utilizada nos testes

Com o intuito de preservar os valores referenciais de alguma possível distorção, foram disponibilizadas as mesmas cargas de tráfego e os mesmos equipamentos em todos os testes. Se porventura houver alguma alteração de *hardware*, *software* ou alguma configuração, estas são relatadas em momentos oportunos.

Para geração da carga de tráfego, foram realizadas transferências de arquivos com o auxílio do protocolo FTP (*File Transfer Protocol* – Protocolo de Transferência de Arquivo). Para tanto, os arquivos utilizados nas transferência têm os mesmos tamanhos, conforme a Tabela 3.1.

Arquivos: projeto.zip, projeto1.zip, projeto2.zip e projeto3.zip	**Tamanho**: 1.138.889 bytes

Tabela 3.1: Arquivos utilizados na carga de tráfego

As configurações dos computadores utilizados nos testes, como os endereços IPs e os Sistemas Operacionais utilizados, estão relacionados na Tabela 3.2 conforme a seguir:

Descrição	IP	Máscara	Sistema Operacional
Computador A1	10.62.16.235	255.255.240.0	Linux Red Hat
Computador A2	10.62.27.191	255.255.240.0	Windows 2000 Server
Computador A3	10.62.31.230	255.255.240.0	Windows 2000 Professional
Computador B1	10.0.0.141	255.255.255.248	Windows 2000 Professional
Roteador R1	10.62.17.17	255.255.240.0	IOS – 12.0(5)
Roteador R2	10.0.0.141	255.255.255.248	IOS – 12.1(4)

Tabela 3.2: Configuração dos equipamentos

Nas tabelas Tabela 3.3 e Tabela 3.4, mostram-se as características físicas através do comando *Show Version* disponível no equipamento.

Cisco Internetwork Operating System Software
IOS (tm) MC3810 Software (MC3810-BINR3V2-M), Version 12.0(5), RELEASE SOFTWARE (fc1)
Copyright (c) 1986-1999 by cisco Systems, Inc.
Cisco MC3810 (MPC860) processor (revision 10.01) with 27648K/5120K bytes of memory.
Processor board ID 17037896
PPC860 PowerQUICC, partnum 0x0000, version C01(0x0031)
Channelized E1, Version 1.0.
Bridging software.
MC3810 SCB board (v16.B0)
1 Multiflex E1(slot 4) BNC interface(v02.B0)
1 6-DSP(slot2) Voice Compression Module(v02.C0)
1 6-DSP(slot5) Voice Compression Module(v02.C0)
1 Ethernet/IEEE 802.3 interface(s)
2 Serial network interface(s)
2 Channelized E1/PRI port(s)
256K bytes of non-volatile configuration memory.
8192K bytes of processor board System flash (AMD29F016)

Tabela 3.3: Característica do Roteador R1

Cisco Internetwork Operating System Software
IOS (tm) MC3810 Software (MC3810-JS-M), Version 12.1(4), RELEASE SOFTWARE (fc1)
Copyright (c) 1986-2000 by cisco Systems, Inc.
Cisco MC3810 (MPC860) processor (revision 10.04) with 28672K/4096K bytes of memory.
Processor board ID 24583219
PPC860 PowerQUICC, partnum 0x0000, version C01(0x0031)
Channelized E1, Version 1.0.
Bridging software.
X.25 software, Version 3.0.0
MC3810 SCB board (v12.A0)
1 Six-Slot Analog Voice Module (v07.B0)
1 Analog FXO voice interface (v04.A0) port 1/1
1 Analog FXO voice interface (v04.A0) port 1/2
1 Analog FXO voice interface (v04.A0) port 1/3
1 6-DSP(slot2) Voice Compression Module(v02.c0)
1 Ethernet/IEEE 802.3 interface(s)
2 Serial(sync/async) network interface(s)
256K bytes of non-volatile configuration memory.
8192K bytes of processor board System flash (AMD29F016)

Tabela 3.4: Característica do roteador R2

A Tabela 3.5 mostra as configurações iniciais dos roteadores, que são padrões dos roteadores R1 e R2. Algumas configurações que não têm efeito didático e que não alteram o entendimento da configuração do equipamento foram retiradas propositalmente.

Os roteadores foram interligados por meio de um enlace WAN com a topologia ponto-a-ponto (*Back-to-back*), proporcionando a conexão da '*Rede A'* com a '*Rede B*'. A velocidade do enlace (largura de banda) está configurada a 125.000 bits por segundo (125 kbps) e utiliza o protocolo *Frame-Relay*.

Todas as transferências realizadas nos testes foram iniciadas manualmente, gerando um atraso de diferença de um <*click*> de mouse e um <*enter*>, mas conforme os objetivos propostos, pode-se desprezá-los. Mesmo assim, o início (*start*) das transferências foi realizado com grande agilidade.

Oportunamente, são apresentadas as alterações nas configurações dos roteadores conforme a estratégia de fila adotada.

Configuração do Roteador R1	Configuração do Roteador R2
! version 12.0 ! hostname R1 ! enable secret 5 1voZA$LoZVbsjrJL2ckgP5DNRB4. ! username teste password 0 teste ! interface Ethernet0 description *** REDE A *** ip address 10.62.17.17 255.255.240.0 ! interface Serial0 encapsulation frame-relay IETF clockrate 125000 cdp enable frame-relay lmi-type ansi frame-relay intf-type dce ! interface Serial0.1 point-to-point description *** Rede A --> Rede B *** ip address 192.168.0.1 255.255.255.252 frame-relay interface-dlci 16 ! ip route 10.0.0.136 255.255.255.248 Serial0.1 ! line con 0 transport input none line aux 0 line vty 0 4 login local ! end	! version 12.1 ! hostname R2 ! enable secret 5 1Y3E2$.4zm.FKoiJmRdYmnMEdaC0 enable password teste ! username teste password 0 teste ! interface Ethernet0 description *** REDE B *** ip address 10.0.0.137 255.255.255.248 ! interface Serial0 ip accounting output-packets encapsulation frame-relay IETF cdp enable frame-relay lmi-type ansi ! interface Serial0.1 point-to-point description *** Rede B --> Rede A *** ip address 192.168.0.2 255.255.255.252 frame-relay interface-dlci 16 ! ip route 10.62.16.0 255.255.240.0 Serial0.1 ! line con 0 transport input none line aux 0 line 2 3 line vty 0 4 login local ! end

Tabela 3.5: Configuração Padrão dos roteadores R1 e R2

3.2 Teste com o Melhor Esforço (*Best-Effort*)

Neste teste é apresentado o método de qualidade de serviço mais utilizado na maioria das redes (em redes corporativas, na rede Internet etc), ou seja, o método do melhor esforço (*best-effort*), conhecido também como método sem qualidade de serviço, pois não existe nenhuma garantia de entrega ou de disponibilidade de recursos para a transmissão de dados. Neste método, o algoritmo padrão de filas utilizado é o tipo FIFO, onde o primeiro pacote recebido pelo roteador é o primeiro a ser tratado e encaminhado.

A estratégia de fila padrão utilizada nos roteadores R1 e R2 é o WFQ (*Weight Fair Queue*), por isso, fez-se a negação do modelo padrão por meio do comando de negação (*no fair-queue*) na interface do roteador, conforme destacado na Tabela 3.6. Desta forma, a estratégia de fila utilizada passa a ser do tipo FIFO.

```
hostname R2
!
interface Ethernet0
 description *** REDE B ***
 ip address 10.0.0.137 255.255.255.248
!
interface Serial0
ip accounting output-packets
 encapsulation frame-relay IETF
 no fair-queue
frame-relay lmi-type ansi
!
interface Serial0.1 point-to-point
 description *** Rede B --> Rede A ***
 ip address 192.168.0.2 255.255.255.0
 frame-relay interface-dlci 16
!
end
R2#>show interface s0
Serial0 is up, line protocol is up
...
  Queueing strategy: fifo
...
```

Tabela 3.6: Configuração do roteador R2 com a estratégia de fila FIFO

Como o modelo melhor esforço está na maioria das redes corporativas, este teste é uma boa forma para saber o que está acontecendo na maioria das redes e servindo também como referencial no quesito desempenho e qualidade; de forma que se tenha um referencial comparativo entre os modelos que serão apresentados.

Aqui, foram efetuadas duas transferências de arquivos via FTP para servidores distintos, da seguinte maneira:

Nome da Transferência	Transferência
A1	Computador B1 → Computador A1
A2	Computador B1 → Computador A2

Tabela 3.7: Seqüência de transferências –Melhor Esforço

Na Tabela 3.8, mostram-se os resultados obtidos nas transferências (os tempos são medidos em segundos e a vazão em Kbytes/segundo). As transferências foram repetidas por 4 vezes (1, 2, 3 e 4), a fim de verificar a variação dos resultados.

Transferência	Tempo de A1(seg.)	Vazão kbytes/Segundo	Tempo de A2 (seg.)	Vazão kbytes/Segundo
1	126,89	8,98	153,95	7,40
2	131,40	8,67	153,90	7,40
3	131,49	8,66	154,03	7,39
4	131,43	8,67	153,92	7,40

Tabela 3.8: Valores obtidos nas transferências com o modelo FIFO

Observa-se uma pequena variação dos resultados obtidos. Um dos motivos dessa variação dá-se devido aos pacotes que são descartados, conformeTabela 3.9, pois no modelo FIFO não existe nenhuma garantia de que os dados serão entregue.

Em paralelo com as transferências, foi disparada uma seqüência de pings. Nota-se a fragilidade do modelo FIFO devido à falta de garantia aos pacotes, que fez com que houvesse várias perdas, conforme a Tabela 3.9.

```
C:\>ping 10.62.31.230 –t

Disparando contra 10.62.31.230 com 32 bytes de dados:

Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=20ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo<10ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo<10ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo<10ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=192ms TTL=126
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=861ms TTL=126
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=801ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=971ms TTL=126
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
Esgotado o tempo limite do pedido.
```

Tabela 3.9: Ping em Paralelo com as Transferências - FIFO

A transferência A2 iniciou primeira do que a transferência A1 e mesmo assim a transferência A2 gastou mais tempo para o seu término. Com isso, pode-se dizer que a primeira transferência teve mais perdas de pacote (Tabela 3.10), o que fez com que houvesse mais retransmissões.

```
Serial0 is up, line protocol is up
  Encapsulation FRAME-RELAY IETF, crc 16, loopback not set, keepalive set (10 se
c)
          …
  Queueing strategy: fifo
  Output queue 10/40, 12 drops; input queue 0/75, 0 drops
          …
  Cable attached: V.35 (DTE)
  Hardware config: V.35; DTE; DSR = UP   DTR = UP   RTS = UP   CTS = UP   DCD
= UP
```

Tabela 3.10: Pacotes descartados – FIFO

As Figura 3.2 e Figura 3.3, mostram o início e o término das transferências dos arquivos, respectivamente. Observa-se que o enlace estava ocioso até o início da transferência, depois passou a ser praticamente utilizado em sua capacidade máxima, atingindo a marca de 100% conforme as taxas.

A linha de cor rosa no gráfico representa o sentido das transmissões (de B1 para A1 e A2); de cor azul, estão os reconhecimentos dos pacotes do TCP que A1 e A2 retornam para a aplicação FTP em B1.

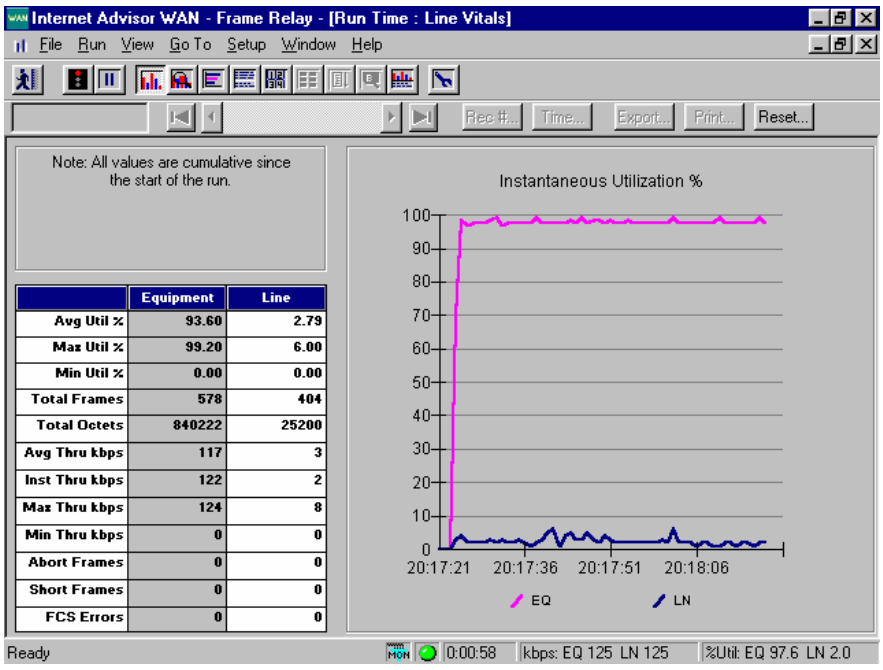
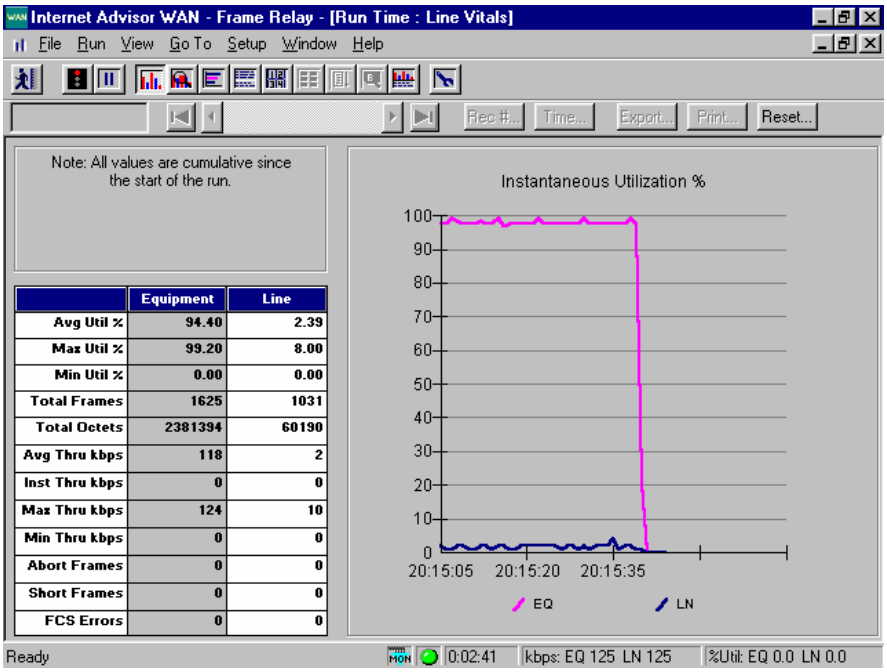


Figura 3.2: Ocupação do link no inicio da transferência



	Equipment	Line
Avg Util %	94.40	2.39
Max Util %	99.20	8.00
Min Util %	0.00	0.00
Total Frames	1625	1031
Total Octets	2381394	60190
Avg Thru kbps	118	2
Inst Thru kbps	0	0
Max Thru kbps	124	10
Min Thru kbps	0	0
Abort Frames	0	0
Short Frames	0	0
FCS Errors	0	0

Figura 3.3: Ocupação do link no término da transferência

As figuras abaixo (Figura 3.4, Figura 3.5 e Figura 3.6), mostram o limite do enlace quanto à vazão (Largura de Banda) e à utilização da banda para cada uma das transferências (A1 e A2 – 10.62.16.235 e 10.62.27.191 respectivamente). Observa-se também pelo gráfico, conforme o relógio de 125Kbps definido no roteador (DCE- R1) como a largura de banda da WAN, que o limite da taxa de transferência fica praticamente conforme o acordado.

O início da transferência é realizada manualmente e isso faz com que uma transferência tenha uma melhor performance inicialmente. A Figura 3.4 e a Figura 3.5, mostram essa superioridade inicial de transferência, onde a máquina A2 (10.62.27.191) ocupa inicialmente uma largura de banda superior à máquina A1 (10.62.16.235).

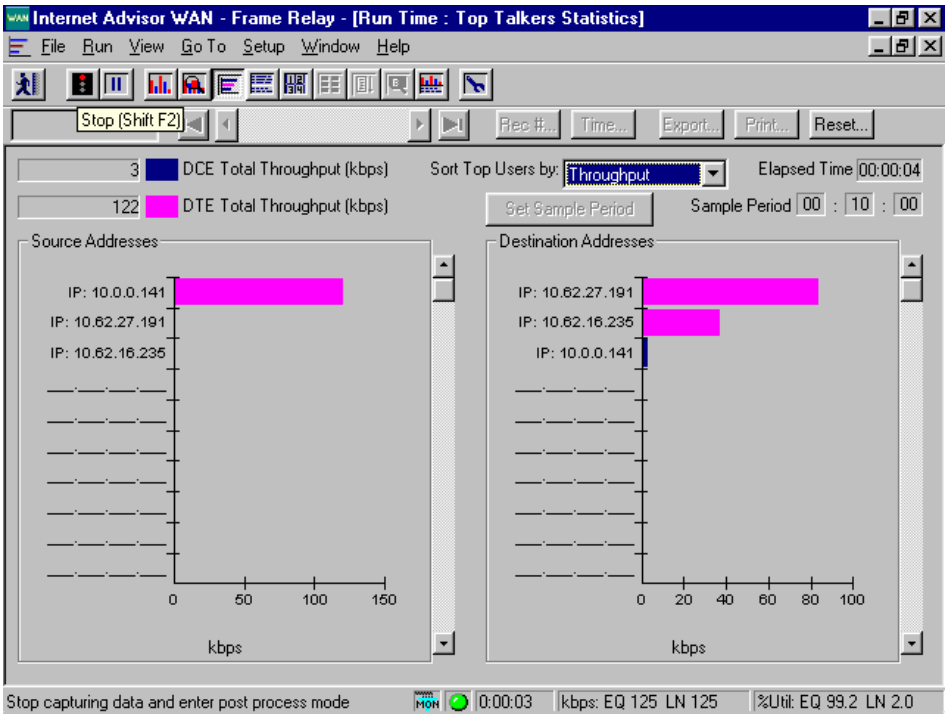


Figura 3.4: Largura de banda (Kbps) no início da Transferência - FIFO

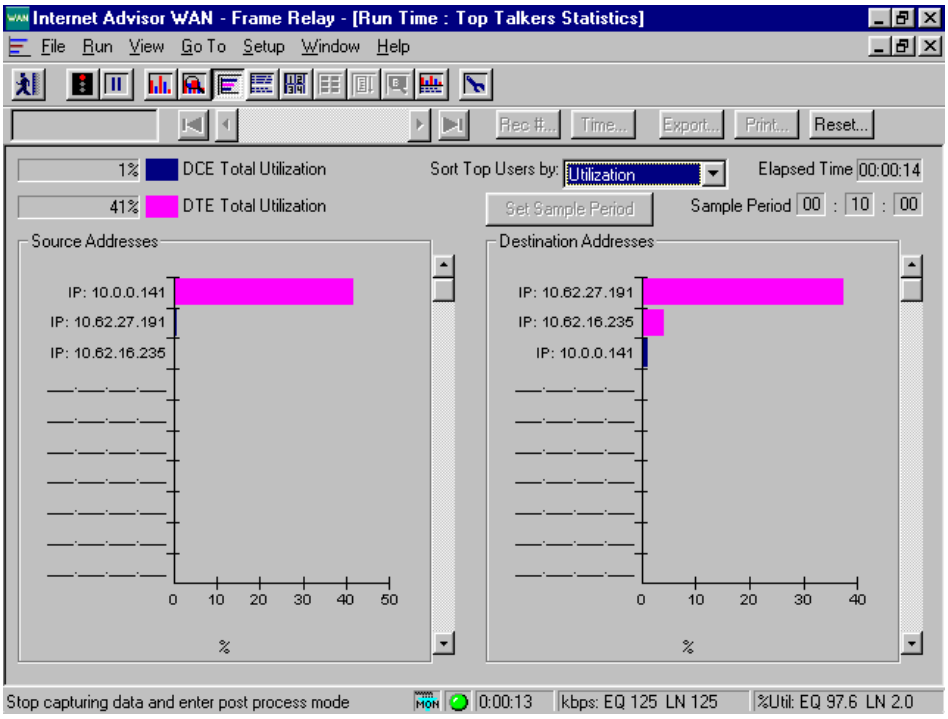


Figura 3.5: Utilização da banda no início da transferência – FIFO

Com o tempo, conforme a Figura 3.6, ocorre a ultrapassagem, em termos de volume de tráfego transmitido, da máquina A2 (10.62.27.191) pela máquina A1 (10.62.16.235). Ou seja, a máquina A2 inicia a transferência mas com o passar do tempo, devido à exaustão do enlace e ausência de garantia de serviços para os pacotes, há descarte de pacotes (Tabela 3.10), permitindo que a máquina A1 se beneficie na transferência e conclua a transferência mais rapidamente.

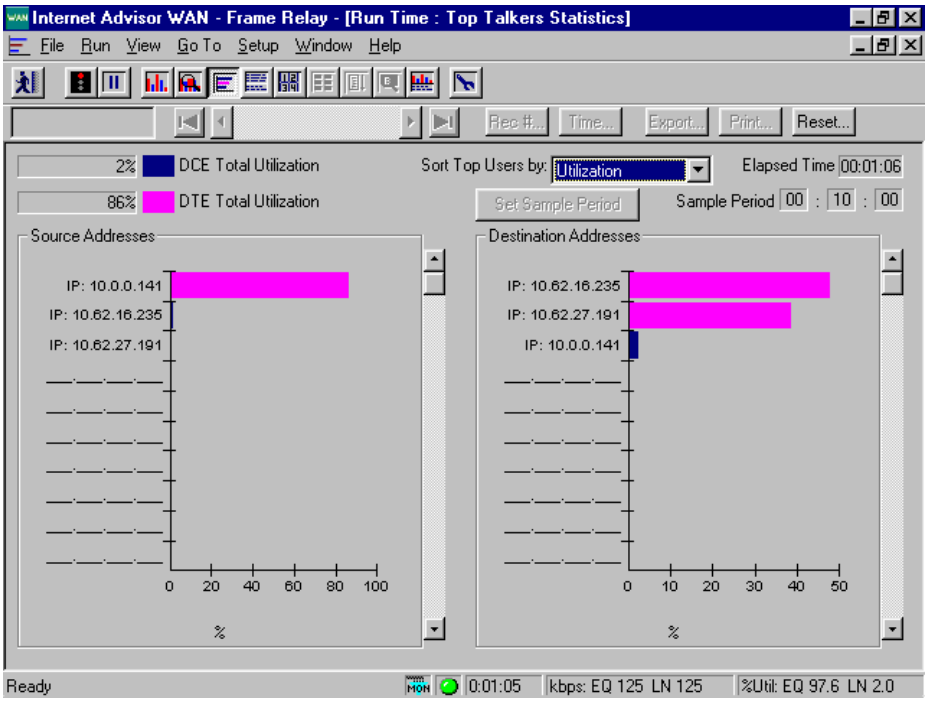


Figura 3.6: Utilização da Banda após 1 minuto de Transferência

3.2.1 Considerações

Conclui-se que no teste de melhor esforço não existe nenhum tipo de garantia, tampouco algum nível de prioridade.

Todo o *link* é compartilhado entre os tráfegos existentes sem exclusividades. O primeiro pacote a entrar é o primeiro a sair (FIFO). Neste modelo, vários pacotes podem ser descartados sem nenhum critério. Existindo banda disponível, transmiti-se. Não existindo, os pacotes entram na fila e esperam a vez de serem atendidos. Para que o pacote corrente seja atendido, o seu tempo limite de vida não pode ter

sido atingido (TTL – Time To Live) devido ao longo tempo de espera na fila e o espaço de armazenamento da fila (*buffer*) não esteja com sua capacidade alcançada.

O método de melhor esforço não provê garantias de serviço, logo, este método não se aplica a serviços que exijam algum nível de prioridade ou de garantias de serviço.

O único parâmetro de QoS que se pode utilizar neste método para melhorar o desempenho seria aumentar a largura de banda (vazão), requisito ligado proporcionalmente ao fator financeiro.

3.3 Fila de Prioridade (Priority Queue)

Com o método de Fila de Prioridade, as aplicações passam a ganhar um certo nível de garantia de serviço, sendo que essas garantias, neste modelo, são garantias rígidas de priorização.

As garantias são rígidas devido às prioridades absolutas reservadas às filas de maior prioridade, ou seja, enquanto houver fila com maior prioridade, esta estará com direito de transmissão adquirido.

Os pacotes são classificados e organizados em suas respectivas filas conforme a prioridade definida na configuração dos roteadores, formando assim, as filas de prioridades com os seguintes níveis de prioridade:

- Prioridade Baixa;
- Prioridade Normal;
- Prioridade Média;
- Prioridade Alta.

Seguindo a mesma analogia do teste anterior (Melhor Esforço) com relação à carga de tráfego, foram realizadas três transferências de arquivos via FTP para servidores distintos.

A classificação dos pacotes foi realizada pelo endereço IP de destino das máquinas por meio de utilização de lista de acessos (*ACL – Access List*), seguindo os seguintes níveis de prioridade, conforme Tabela 3.11.

Nome da Transferência	Transferência	Lista de Acesso (ACL)	Prioridade
A1	Computador B1 → Computador A1	103	Média
A2	Computador B1 → Computador A2	104	Baixa
A3	Computador B1 → Computador A3	102	Alta

Tabela 3.11: Seqüência de transferências – Fila de Prioridade

Assim, os pacotes com destino para a máquina A3 (10.62.31.230) tiveram prioridade alta, para a máquina A2 (10.62.27.191) tiveram prioridade baixa e para a máquina A1 (10.62.16.235) tiveram prioridade média.

Uma vez definida a lista de prioridade, aplica-se a estratégia de enfileiramento à interface WAN: *priority-group*.

Não existiu outro tipo de tráfego concorrendo com o teste, porém, conforme a literatura a respeito do algoritmo de fila de prioridade, o tráfego que não é relacionado em uma lista de prioridade é classificado com prioridade normal [VEG 02].

As seguintes configurações foram realizadas no roteador R2 (Tabela 3.12):

```
!hostname R2
!
interface Serial0
 encapsulation frame-relay IETF
 priority-group 1
frame-relay lmi-type ansi
!
interface Serial0.1 point-to-point
 description *** Rede B --> Rede A ***
 ip address 192.168.0.2 255.255.255.252
 frame-relay interface-dlci 16
!
access-list 102 permit ip any host 10.62.31.230
access-list 103 permit ip any host 10.62.16.235
access-list 104 permit ip any host 10.62.27.191
priority-list 1 protocol ip high list 102
priority-list 1 protocol ip medium list 103
priority-list 1 protocol ip low list 104
!
end
```

Tabela 3.12: Configuração da Lista de Prioridade

Realizadas as devidas configurações, iniciam-se as respectivas transferências dos arquivos (o teste propriamente dito).

Mediante o gráfico do Analisador de protocolo (Figura 3.7), nos primeiros 10 segundos ocorre alguma transferência para A2 (10.62.27.191) e A1 (10.62.16.235). Isto acontece devido ao tempo de início das transferências. O *start* é feito manualmente e na seqüência de aplicação de menor prioridade para a de mais alta prioridade (A2, A1 e A3).

É Interessante observar que, enquanto ocorria tráfego da transferência para a máquina A3, as máquinas A2 e A1 ficaram praticamente paradas. A máquina A1 começou a receber transmissão somente ao término de A3 e a máquina A2 após o término de A1.

Conclui-se que, enquanto houver alguma fila de prioridade maior do que a que estiver esperando, esta continuará esperando até que não tenha mais prioridade maior que a sua.

Observando a Tabela 3.13, para transferir o arquivo para A3, foram gastos 75,97 segundos. Após o término de A3, passaram aproximadamente pouco mais que 80 segundos e finaliza a transferência de A1 e, em mais 80 segundos, encerra-se a transferência de A2. O tempo entre uma transferência e outra (80 segundos) é praticamente o tempo gasto de uma única transferência, daí pode-se concluir a prioridade absoluta dada aos pacotes com o referido método.

Transferência	Nível de Prioridade	Tempo gasto (seg.)	Vazão Kbytes/Segundo
A3	Alta	75,97	14,99
A1	Média	159,65	7,13
A2	Baixa	240,85	4,73

Tabela 3.13: Valores das transferências – Fila de Prioridade

Um fato interessante acontecido em outro teste foi o fechamento da conexão FTP pelo servidor. Propositalmente, depois de estabelecida a conexão com o servidor, demorou-se um pouco mais para o início da transferência. Isso fez com que a transferência do último arquivo sofresse as conseqüências, devido ao excesso de inatividade por conta de prioridade absoluta imposta por outros pacotes de maior

prioridade. Esta penalidade foi sofrida pela máquina A2 (10.62.27.191) que estava definida na lista de prioridade baixa. A aplicação ficou esperando pela continuidade do serviço, que não ocorreu devido à falta de prioridade. Daí, o fato da ocorrência da falha na transferência.

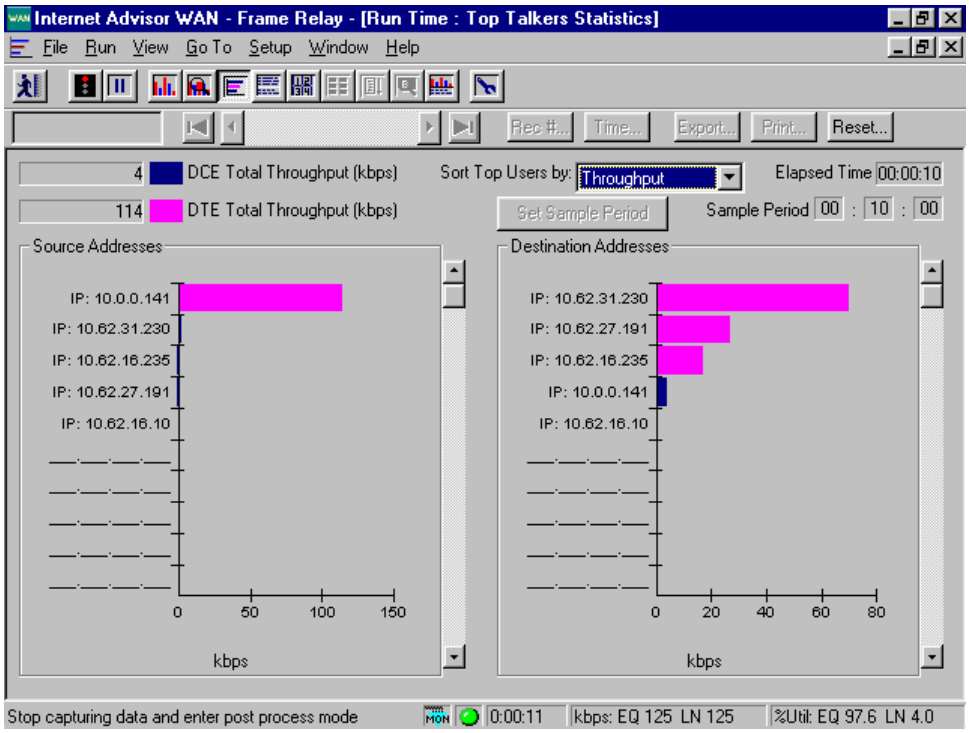


Figura 3.7: Início da Transferência – Fila de Prioridade

Após 1’32”, observa-se por meio da Figura 3.8, a superioridade absoluta imposta pelo método de Fila de Prioridade. Toda a banda foi ocupada na transferência para a máquina A3.

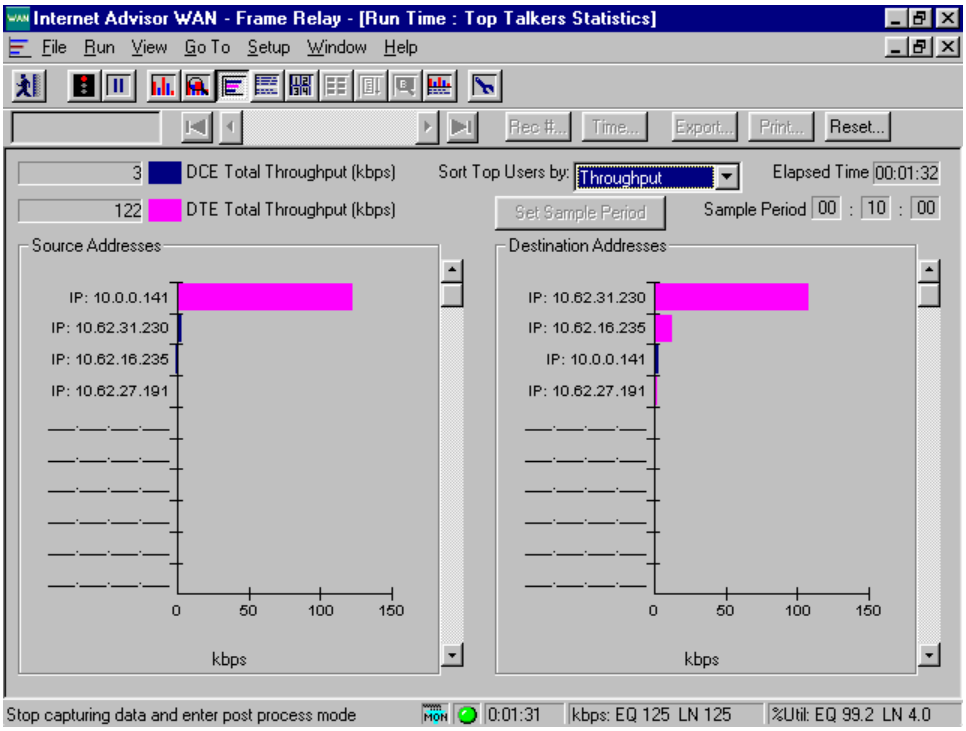


Figura 3.8: Superioridade absoluta na Fila de Prioridade

O gráfico da Figura 3.9, mostra o término de A3 e o avanço de A1. A máquina A2 ainda continua na fila para ser atendida. A Figura 3.10 mostra a conclusão das transferências. As vazões em relação ao tempo são praticamente idênticas.

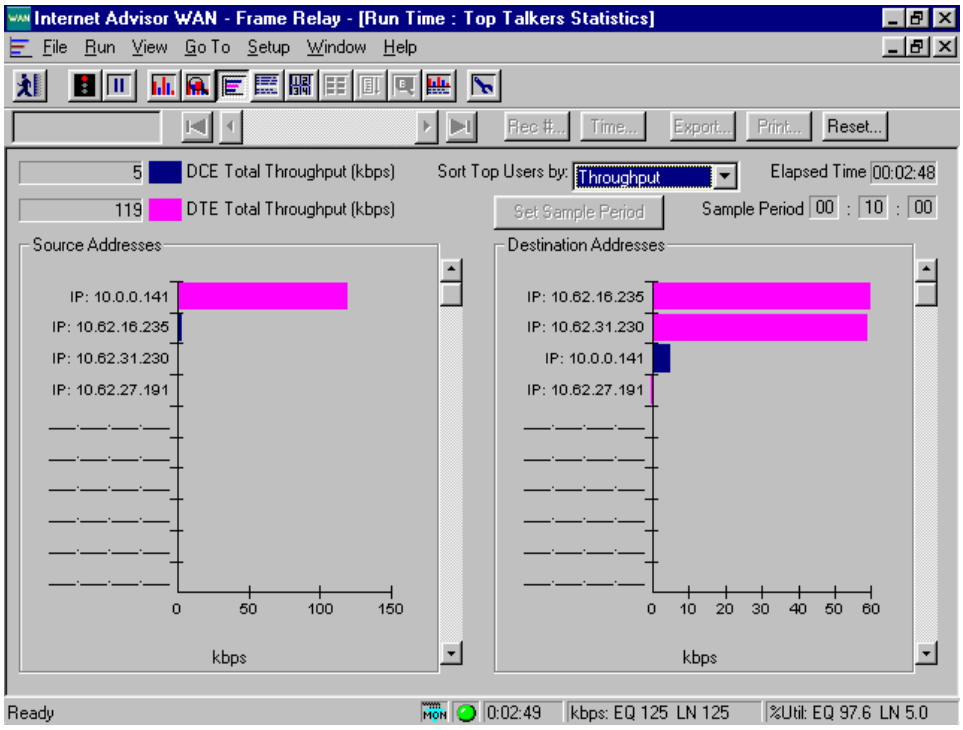


Figura 3.9: Término da transferência de A3 e A2.- PQ

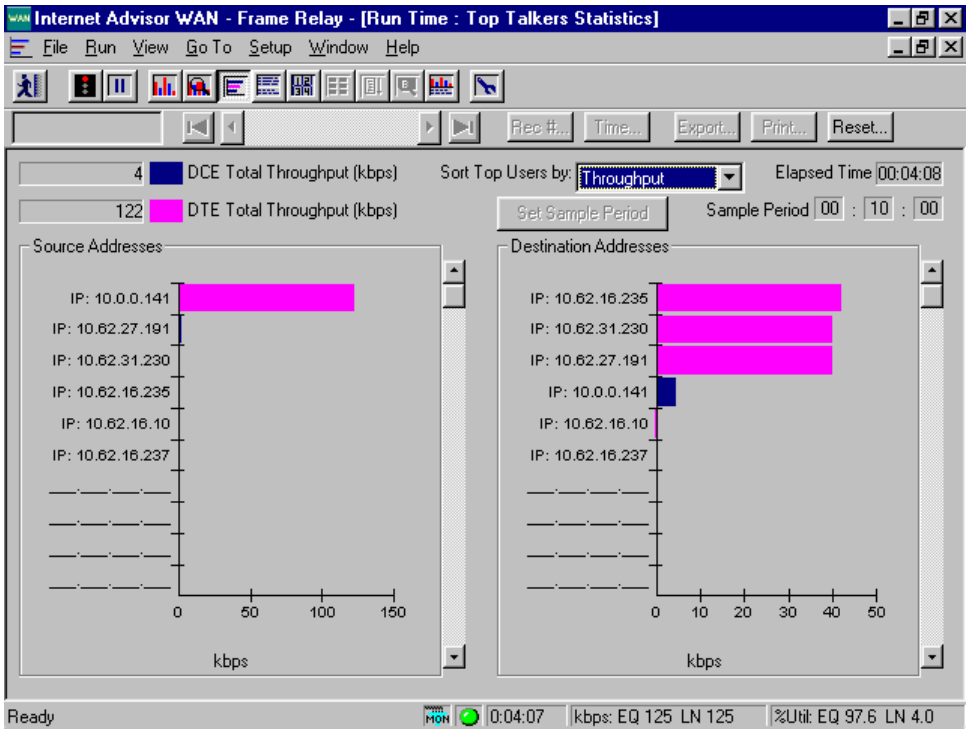


Figura 3.10: Término das transferências- PQ

Como as informações gráficas do analisador de protocolo são registradas pela média, observa-se que com o passar do tempo a média em Kbps tende a ser idêntica para os três computadores. Quando uma transferência é concluída, sua média (kbps) vai diminuindo e, conseqüentemente, quem estiver transmitindo vai tendo seu valor médio (kbps) incrementado.

3.3.1 Considerações

Fazendo uma analogia do modelo de QoS com filas bancárias, pode-se dizer que no modelo de melhor esforço, não existe prioridade para gestantes e idosos, quem chegar primeiro será o primeiro a ser atendido (fila única). No modelo de fila de prioridade, além da fila única, têm-se outras filas com alta prioridade (gestantes e idosos). Se a fila de prioridade alta estiver vazia, o caixa pode atender a outros clientes. Se chegar alguém na fila de prioridade alta, esta vai ter que esperar o término do atendimento de alguma tarefa já iniciada em outras filas menos prioritárias, para então atender à fila de prioridade alta. Ou seja, se o cliente menos prioritário estava sendo atendido (suponha com vários boletos para pagar), então o caixa termina somente o pagamento do boleto que já estava em processamento e volta a atender a fila prioritária até que esta seja totalmente expurgada, para então, voltar ao cliente menos prioritário e continuar seu atendimento.

Em relação ao IP: Se um pacote está sendo transmitido e chega algum pacote prioritário, o roteador termina de enviar o pacote que já estava sendo tratado para então tratar o pacote prioritário. Então, os menos prioritários esperam na fila até que não haja mais pacotes com prioridade maior do que o seu para serem atendidos.

Para este método, como outros, é necessário um estudo criterioso do que será feito, pois pode acontecer de pacotes não menos importantes serem descartados, dependendo da lista de prioridade ou, pode ocorrer que todos os pacotes passem a ser prioritários (imagine todos os clientes passando para a fila de gestantes e idosos). Perder-se-ia o sentido das prioridades.

Outra questão que se aplica neste e em outros modelos de QoS, é o requisito de largura de banda. É sempre importante observar a ocupação do link para o estudo da aplicação de técnicas de Qualidade de Serviço - QoS.

O método é muito interessante onde haja aplicação de missão crítica ou um interesse maior de tráfego para uma determinada aplicação, pois ele provê tratamento preferencial absoluto para o tráfego de prioridade alta.

3.4 Fila Customizada (*Custom Queue*)

Ao contrário das potenciais garantias impostas às aplicações de missões críticas na fila de prioridade e ao elevado custo para os dados de baixa prioridade, a fila customizada garante uma largura de banda mínima para cada classe de tráfego.

Seguindo a mesma carga de tráfego que foi realizada no teste de fila de prioridade (item 3.3), as transferências serão conforme a seguir:

Nome da Transferência	Transferência
A1	Computador B1 → Computador A1
A2	Computador B1 → Computador A2
A3	Computador B1 → Computador A3

Tabela 3.14: Seqüência de transferências – Fila Customizada

A garantia de serviço imposta ao modelo de fila customizada é determinada por uma certa quantidade de byte para cada fila. Essa quantidade de byte é chamada de: contador de byte.

Para que o algoritmo realize suas funcionalidades é necessário encontrar o valor do “contador de bytes” a ser alocado para cada fila de transferência. O valor do “contador de byte” é encontrado através de alguns cálculos matemáticos. Para isso, construímos uma planilha de cálculo para auxiliar nesta tarefa, conforme a seguir:

Custom Queue - Determinando o contador de Bytes.						
Vazão (Bit)	125000					
Vazão (Byte)	15625					
Multiplicador	2					
Fila	**Porcentagem Desejada**	**Tamanho Máx. Pacote**	**Fator**	**Quant. Pacotes**	**Total Bytes**	**Porcentagem Encontrada**
1 (A2)	20	1500	0,013333333	2	3000	20%
2 (A1)	20	1500	0,013333333	2	3000	20%
3 (A3)	60	1500	0,04	6	9000	60%
					15000	

Tabela 3.15: Cálculo do Contador de Bytes - CQ

De acordo com a Tabela 3.15, o valor para o contador de byte para cada fila está representado na coluna “Total Bytes”. As filas 1, 2 e 3, indicadas na tabela, são as filas para as máquinas A1, A2 e A3 respectivamente.

Para realizar o cálculo da tabela acima seguem-se os seguintes passos:

- **Porcentagem Desejada**: Definir a porcentagem de banda que será alocada para cada fila. Neste teste, foram alocadas para a fila 1 e 2, 20%. E para a fila 3, 60%;
- **Tamanho Máximo do Pacote**: Definir o tamanho máximo dos pacotes de cada fila. Neste caso é utilizado para o MTU o valor de 1500 bytes, que é o padrão utilizado na maioria das redes corporativas;
- **Fator**: Calcula-se o “fator”, dividindo a porcentagem pelo tamanho máximo do pacote (Passo 1 / Passo 2);
- **Quantidade de Pacotes**: O menor valor encontrado no Passo 3 (Fator) será o divisor do mesmo para encontrar a quantidade de pacotes, sendo que o resultado é arredondado para cima;
- **Total Bytes**: É o valor do MTU (Passo 2) multiplicado pela ‘*Quantidade de . Pacotes’* (Passo 2 * Passo 4);

- **Porcentagem Encontrada**: É a confirmação do valor de percentagem desejada. O cálculo é a divisão de total de bytes por fila dividida pelo total de bytes de todas as filas (Total de byte na fila/Somatório de bytes das filas). No exemplo, o cálculo foi exato. Mas, se não der exato, ficará muito próximo do desejado.

Quando o valor do total de bytes não estiver próximo da largura de banda, utiliza-se o "multiplicador" para aproximar ao valor desejado. O multiplicador é multiplicado ao "fator". Na Tabela 3.15, o multiplicador foi alterado de 1 para 2.

Conforme definido, é reservada uma certa quantia de bytes a serem transmitidos para cada fila. Será garantido para a fila 1 (máquina A1) 20% da largura de banda, para a fila 2 (máquina A2) 20% da banda e, para a fila 3 (máquina A3) 60% da largura de banda disponível. Desta maneira, o contador de byte para as filas 1, 2 e 3 serão respectivamente: 3000, 3000 e 9000.

A Tabela 3.16, mostra as configurações necessárias para o roteador R2.

```
Hostname R2
!
interface Serial0
encapsulation frame-relay IETF
 custom-queue-list 1
 frame-relay lmi-type ansi
!
access-list 102 permit ip any host 10.62.31.230
access-list 103 permit ip any host 10.62.16.235
access-list 104 permit ip any host 10.62.27.191
queue-list 1 protocol ip 1 list 102
queue-list 1 protocol ip 2 list 103
queue-list 1 protocol ip 3 list 104
queue-list 1 queue 1 byte-count 9000
queue-list 1 queue 2 byte-count 3000
queue-list 1 queue 3 byte-count 3000
!
end
```

Tabela 3.16: Configuração roteador R2 - *Custom Queue*

Conforme as configurações realizadas, espera-se que a transferência para a máquina A1 e A2 gaste aproximadamente 3'79" para concluir a transferência e que a máquina A3 gaste aproximadamente 2'10".

Com o intuito de fazer uma relação entre os resultados obtidos na prática e o resultados teórico esperado, seguem os cálculos:

- Máquina A3

  Transferência: 1.138.889 bytes

  Garantia de Banda: 9.000 bytes/s

  Tempo de Transferência = 1.138.889 / 9.000 = 126,54s = 2’10”

- Máquina A1 e A2

  Transferência: 1.138.889 bytes

  Garantia de Banda: 3.000 bytes/s

Como a transferência de A1 e A2 possui uma garantia de 3.000 bytes/s cada uma, logo, no tempo de 126,54 segundos, que é quando a máquina A3 conclui sua transferência, as máquinas A1 e A2 terão transferido 379.620 bytes (3.000 bytes * 126,54s). Como A3 estava ocupando uma banda de 9.000 bytes/s, houve uma sobra de 9.000 bytes/s na banda passante, o qual foi dividido proporcionalmente entre as filas restantes. Como as garantias das filas são de um mesmo tamanho (3.000 bytes/s) houve uma distribuição dos recursos da mesma proporção para as filas não vazias. De forma que A1 e A2 passaram a transmitir em uma taxa de 7.500 bytes/s (3000 + (9.000/2)), conforme Tabela 3.17, totalizando um percentual de 50% da banda para cada fila.

- Máquina A1 e A2

  Transferência: 1.138.889 – 379.620 = 759.269 bytes

  Garantia de Banda: 7.500 bytes/s

  Tempo transferência:759.269/7.500=101,23+126,54=227,77s=3’79”

Custom Queue - Determinando o contador de Bytes.						
Vazão (Bit)	125000					
Vazão (Byte)	15625					
Multiplicador	2					
Fila	**Porcentagem Desejada**	**Tamanho Máx. Pacote**	**Fator**	**Quant. Pacotes**	**Total Bytes**	**Porcentagem Encontrada**
1 (A2)	20	1500	0,013333333	2	3000	20%
2 (A1)	20	1500	0,013333333	2	3000	20%
3 (A3)	60	1500	0,04	6	9000	60%
					15000	
Multiplicador	5					
Fila	**Porcentagem Desejada**	**Tamanho Máx. Pacote**	**Fator**	**Quant. Pacotes**	**Total Bytes**	**Porcentagem Encontrada**
1 (A2)	20	1500	0,013333333	5	7500	50%
2 (A1)	20	1500	0,013333333	5	7500	50%
3 (A3)	0	1500	0	0	0	0%
					15000	

Tabela 3.17: Cálculo Contador de Byte após conclusão da fila 3

Realmente, os valores obtidos com os testes práticos ficaram muito próximos do esperado.

Na Tabela 3.18, podem-se confirmar os tempos gastos nas transferências com a previsão realizada nos cálculos acima. A diferença é mínima em relação ao nosso cálculo. Um dos motivos é a diferença de 625 bytes/s que foram repartidos proporcionalmente entre as filas, pois as filas eram de 15.000 bytes (9.000 + 3.000 + 3.000) e o enlace de 15.625 bytes, mas isto é irrelevante para o nosso propósito.

A Figura 3.11 mostra a porcentagem de utilização da banda que, no caso, foi conforme o contratado, ou seja, 60% para a máquina A3 (10.62.31.230), 20% para a máquina A2 (10.62.16.235) e 20% para a máquina A1 (10.62.27.191).

A Figura 3.12, mostra a largura de banda em Kbps para cada máquina: um pouco menos de 80kbps para a máquina A3 (10.62.31.230) e um pouco mais de 20kbps para as máquinas A2 e A1 (10.62.16.235 e 10.62.27.191).

Transferência	Contador de Byte	Tempo gasto (seg.)	Vazão Kbytes/Segundo
A1	3000	225,68	5,05
A2	3000	224,15	5,00
A3	9000	125,00	9,11

Tabela 3.18: Valores obtidos na transferências - CQ

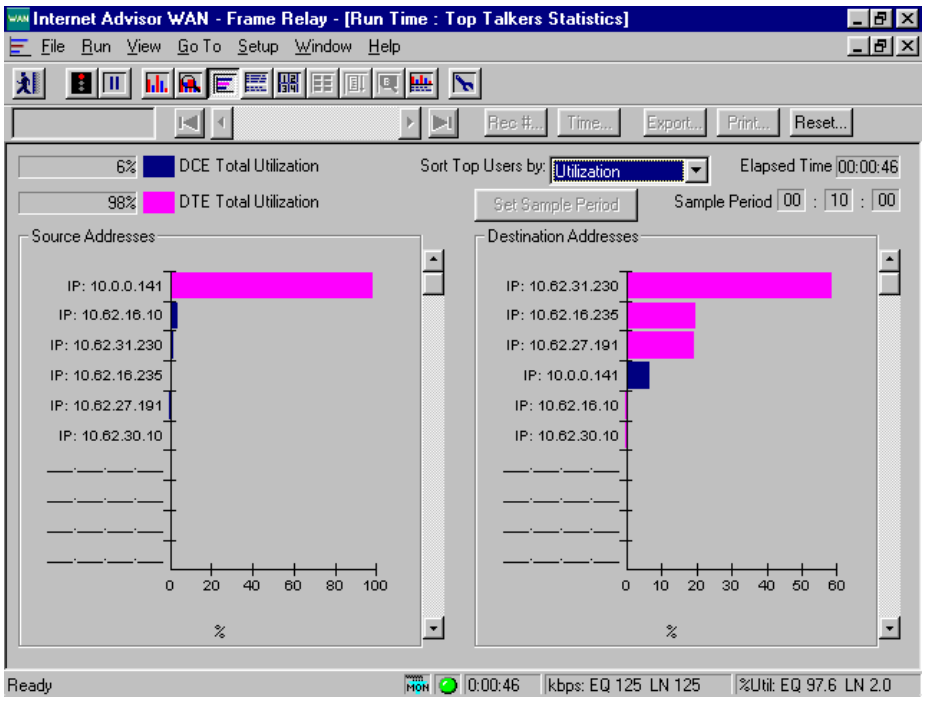


Figura 3.11: Porcentagem de utilização da Banda – 60%, 20% e 20% - CQ

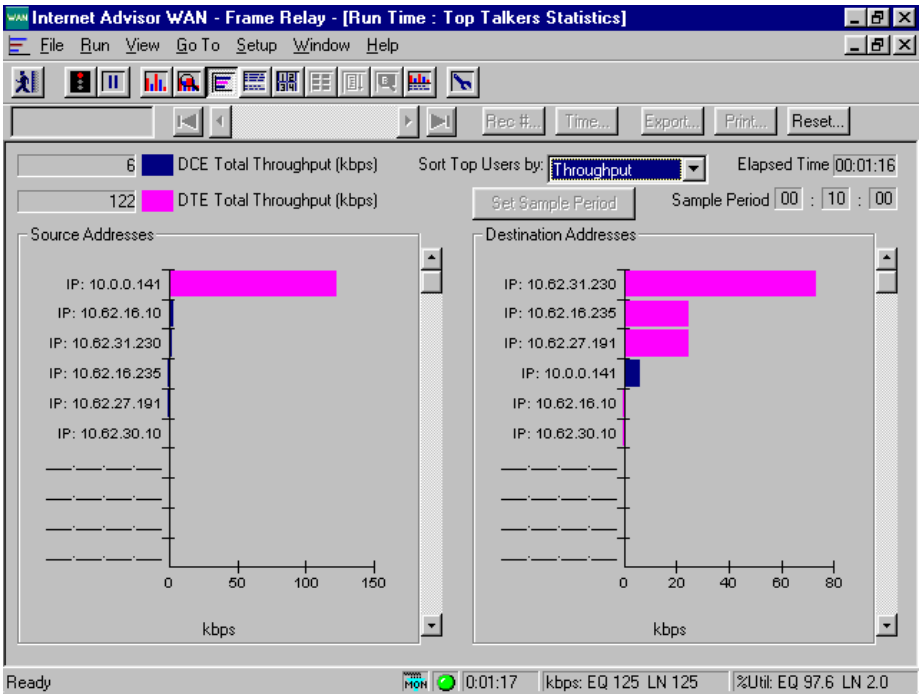


Figura 3.12: Vazão consumida por fila - CQ

Realizando mais um teste com o modelo - CQ.

Mudando os valores do contador de byte, a máquina A3 teve somente 50% da largura de banda, a máquina A1 teve 30% da largura de banda e a máquina A2, 20% da largura de banda.

Utilizando novamente a planilha com os novos valores para as máquinas, análogo à Tabela 3.15, cada máquina (A2, A1 e A3) teve os respectivos valores para o contador de bytes: 3000, 4500 e 7500 bytes, conforme a Tabela 3.19

Custom Queue - Determinando o contador de Bytes.						
Vazão (Bit)	125000					
Vazão (Byte)	15625					
Multiplicador	2					
Fila	**Porcentagem Desejada**	**Tamanho Máx. Pacote**	**Fator**	**Quant. Pacotes**	**Total Bytes**	**Porcentagem Encontrada**
1 (A2)	20	1500	0,013333333	2	3000	20%
2 (A1)	30	1500	0,02	3	4500	30%
3 (A3)	50	1500	0,033333333	5	7500	50%
					15000	

Tabela 3.19: Novo cálculo Contador de Byte - CQ

As alterações necessárias ao roteador R2 ficaram conforme a seguir:

```
hostname R2
!
interface Serial0
 encapsulation frame-relay IETF
 custom-queue-list 1
 frame-relay lmi-type ansi
!
access-list 102 permit ip any host 10.62.31.230
access-list 103 permit ip any host 10.62.16.235
access-list 104 permit ip any host 10.62.27.191
queue-list 1 protocol ip 1 list 102
queue-list 1 protocol ip 2 list 103
queue-list 1 protocol ip 3 list 104
queue-list 1 queue 1 byte-count 7500
queue-list 1 queue 2 byte-count 4500
queue-list 1 queue 3 byte-count 3000
!
end
```

Tabela 3.20: Configuração roteador R2 (Novos valores) - CQ

De acordo com as novas configurações, os cálculos dos tempos de transferências esperados para os resultados são:

- Máquina A3

  Transferência: 1.138.889 bytes

  Garantia de Banda: 7.500 bytes/s

  Tempo de transferência = 1.138.889 / 7.500 = 151,85s = 2’53”

- Máquina A2

  Transferência: 1.138.889 bytes

  Garantia de Banda: 4.500 bytes/s

  Transferência em 151,85s: 4.500 * 151,85 = 683.325 bytes

  Após a transferência de A3, a máquina A2 teria transmitido 683.325 bytes. Como existe uma porção de banda disponível para A2 e A1 um novo cálculo é realizado, conforme Tabela 3.21.

Custom Queue - Determinando o contador de Bytes.						
Multiplicador	4					
Fila	**Porcentagem Desejada**	**Tamanho Máx. Pacote**	**Fator**	**Quant. Pacotes**	**Total Bytes**	**Porcentagem Encontrada**
1 (A2)	20	1500	0,013333333	4	6000	40%
2 (A1)	30	1500	0,02	6	9000	60%
3 (A3)	0	1500	0	0	0	0%
					15000	

Tabela 3.21: Cálculo do Contador de Byte após o término de fila 3 - CQ

Continuando os cálculos:

- Máquina A2

  Transferência: 1.138.889 - 683.325 = 455.564 bytes

  Garantia de Banda: 9.000 bytes/s

  Tempo transferência=455.564/9.000=50,61+151,85=202,46s= 3’37”

- Máquina A1

  Primeiro momento: 151,85 * 3.000 = 455.550 bytes

  Segundo momento: 50.61 * 6.000 = 303.660 bytes

A Transferir: 1.138.889 – (455.550 + 303.660) = 379.679 bytes

Garantia de Banda: 15.625 bytes/s

Tempo de Transferência : 379.679 / 15625 = 24,29 + 202,46 = 226,75 = 3'77"

Com os novos valores de largura de banda reservados para cada transferência, observa-se os resultados práticos obtidos, conforme Tabela 3.22, Figura 3.13 e Figura 3.14.

Transferência	Contador de Byte	Tempo gasto (seg.)	Vazão Kbytes/Segundo
A2 (20%)	3000	235,50	4,84
A1(30%)	4500	210,04	5,43
A3(50%)	7500	157,56	7,23

Tabela 3.22: Valores gastos nas transferências - CQ

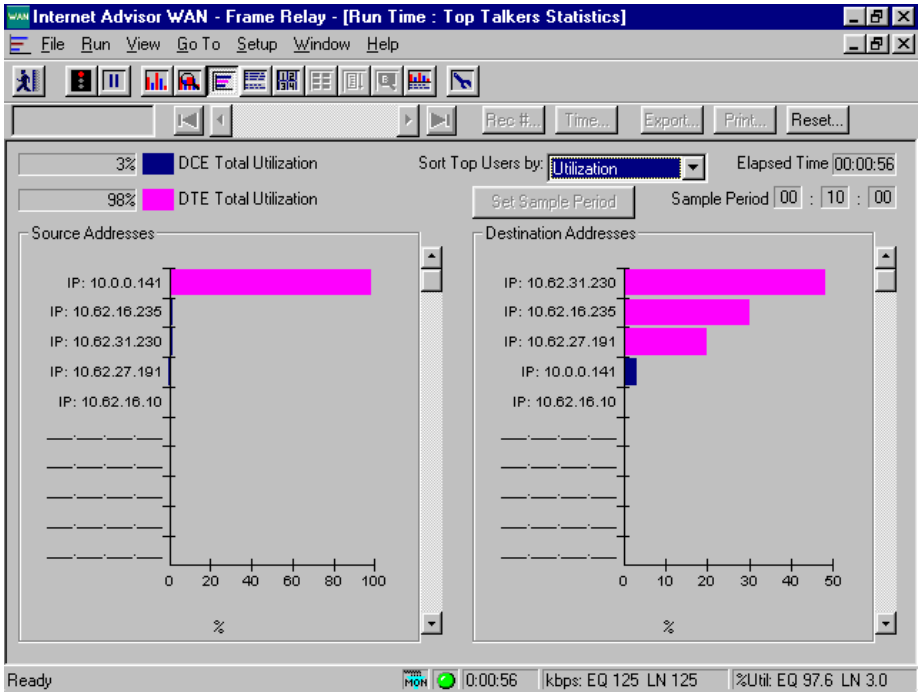


Figura 3.13: Utilização da Banda – 50%, 30% e 20% - CQ

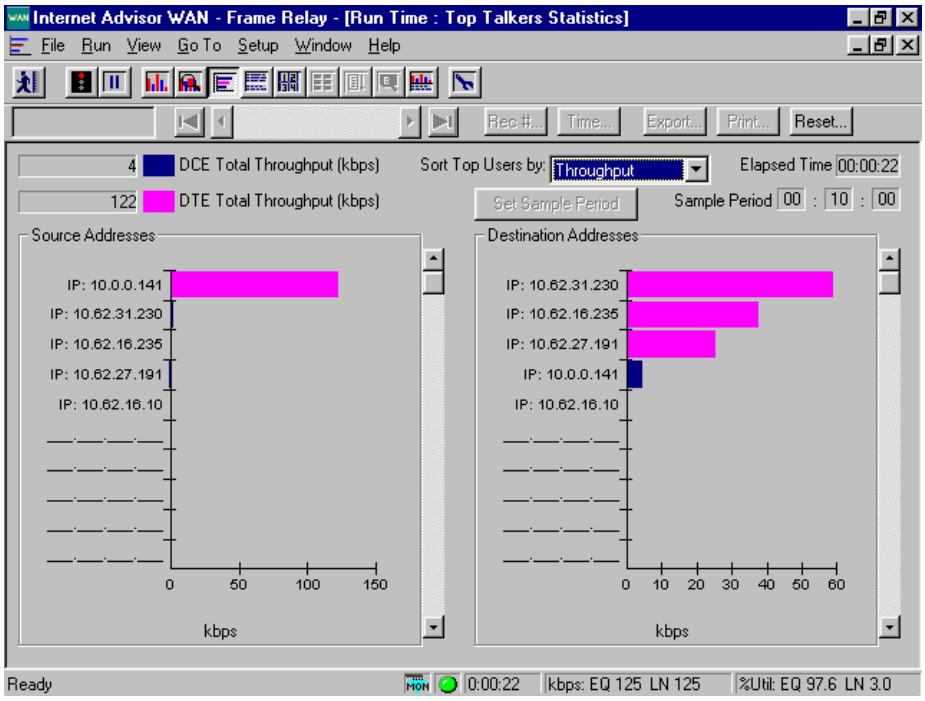


Figura 3.14: Consumo de banda em Kbps (50%,30% e 20%) - CQ

3.4.1 Considerações

Diferentemente do modelo anterior (fila de prioridade), até o momento o modelo de fila customizada (*custom queue*) é o mais justo, pois garante uma determinada banda para cada serviço e, caso não haja utilização da banda reservada para alguma fila, esta é utilizada proporcionalmente para as que estiverem precisando.

A definição dos parâmetros neste modelo é mais rigorosa, onde necessita alguns cálculos para alcançar uma distribuição mais justa. Dependendo das definições de reserva de largura de banda, pode ser que outros serviços possam vir a ser prejudicados caso haja uma ocupação total da banda.

A aplicação deste método é interessante onde haja mais de um tipo de serviço, que exija certas garantias percentuais da largura de banda contratada. Ou seja, garantias de banda compartilhada com outras aplicações, de forma que várias aplicações recebam um certo nível de garantia.

3.5 Fila Justa (WFQ - Weighted Fair Queueing)

O método WFQ (*Weighted Fair Queueing*) ora apresentado está dividido em duas partes: a primeira é o método WFQ baseado no fluxo, conhecido simplesmente por WFQ e a segunda é o WFQ baseado em classe, que é denominado de CBWFQ (*Class-Base Weighted Fair Queueing*).

3.5.1 Fila Justa Baseada no Fluxo - WFQ

O modelo WFQ – Fila Justa Baseada no Peso é o modelo padrão que vem configurado na maioria dos roteadores CISCO. Se não alterarmos a configuração do roteador, esta será a estratégia de enfileiramento que será utilizada. Logo, a configuração dos roteadores neste teste segue a configuração padrão apresentada inicialmente conforme a Tabela 3.5 (página 41).

A Tabela 3.23 mostra a estratégia de fila padrão utilizada:

```
R2#>show interface s0
Serial0 is up, line protocol is up
...
  Queueing strategy: fair-queue
...
```

Tabela 3.23: Estratégia de fila Padrão - WFQ

O modelo é baseado no fluxo de informações. O algoritmo gerencia e organiza automaticamente o tráfego conforme o fluxo. Pacotes com o mesmo endereço IP de origem, mesmo endereço IP de destino, mesma porta de origem do TCP ou UDP ou mesma porta de destino do TCP ou UDP, possuem o mesmo fluxo. O WFQ aloca uma quantidade de banda para cada fluxo de forma igualitária, ou seja, todos os fluxos possuem pesos iguais, por isso também é chamado de Fila Justa.

As transferências foram realizadas da seguinte maneira:

Nome da Transferência	Transferência
A1	Computador B1 → Computador A1
A2	Computador B1 → Computador A2

Tabela 3.24: Seqüência de transferência - WFQ

A Tabela 3.25 mostra os resultados obtidos nas transferências através do cliente FTP-DOS do windows 2000. A transferência dos arquivos foi repetida somente para constatar os números do teste.

Transferência	Segundos de B1para A1	Vazão Kbytes/Segundo	Segundos de B1 para A2	Vazão Kbytes/Segundo
1	149,01	7,64	150,68	7,56
2	149,03	7,64	150,61	7,56

Tabela 3.25: Valores obtidos na transferência - WFQ

Nas transferências dos arquivos realizadas, houve dois fluxos de tráfego para endereços IP de destinos diferentes. Como o algoritmo WFQ é baseado no fluxo do tráfego dos pacotes, é esperado que se tenha um compartilhamento justo (metade da banda para cada um), conforme a literatura para o algoritmo em questão.

Portanto, os valores obtidos na transferência conforme a Tabela 3.25, eram os esperados. Ocorreu o compartilhamento justo dos recursos de largura de banda disponível entre os fluxos de informações, de maneira que os tempos gastos na transferência ficaram muito próximos um do outro.

Pode-se dizer que a diferença de praticamente 1,5 segundos (150,61s – 149,03s) entre uma transferência e outra é causada principalmente pelo tempo de *start* da transferência entre uma aplicação e outra.

O gráfico da Figura 3.15 mostra a performance de ocupação do link durante as transferências dos arquivos. Observa-se que, conforme a configuração do roteador R1 (DCE) definido com o relógio de 125Kbps, o limite da taxa de transferência fica praticamente conforme o acordado.

Como as transferências dos arquivos são realizadas de uma única fonte para vários destinos, observa-se na Figura 3.16 que a fonte da transferência dos dados, o computador B1 (10.0.0.141), ocupa todo o link para a transmissão, que é de 125Kbps, 100% de utilização conforme a Figura 3.17. Por sua vez, o tráfego de destino é dividido entre as duas máquinas (A1-10.62.16.235 e A2-10.62.27.191), com valores muito próximos da metade da capacidade do link (62Kbps para cada destino), perfazendo a utilização de 50% da capacidade do link.

Assim sendo, o compartilhamento justo ocorrido nas transferências dos arquivos pode ser verificado por meio dos gráficos abaixo.

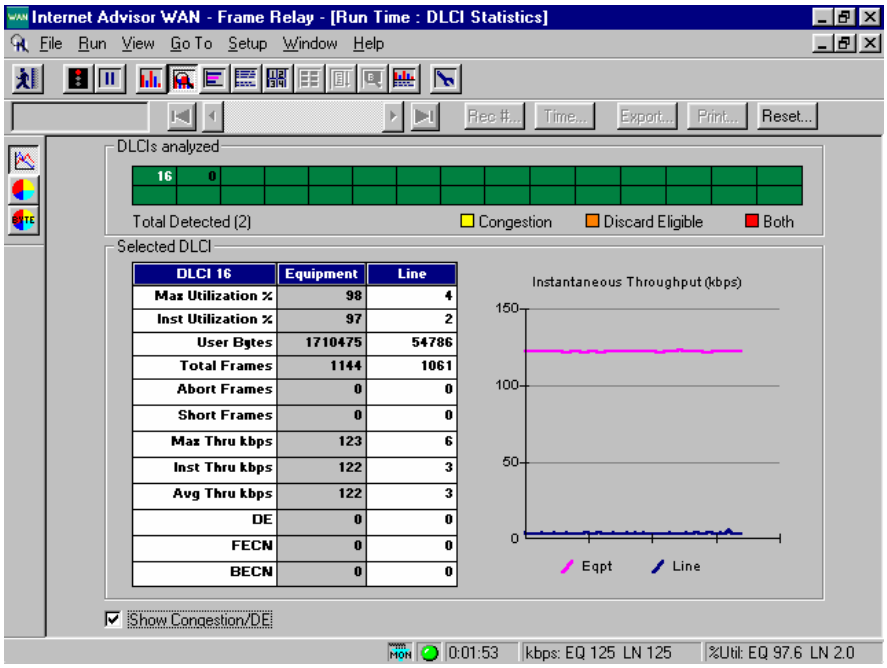


Figura 3.15: Ocupação da largura de banda durante as transferências

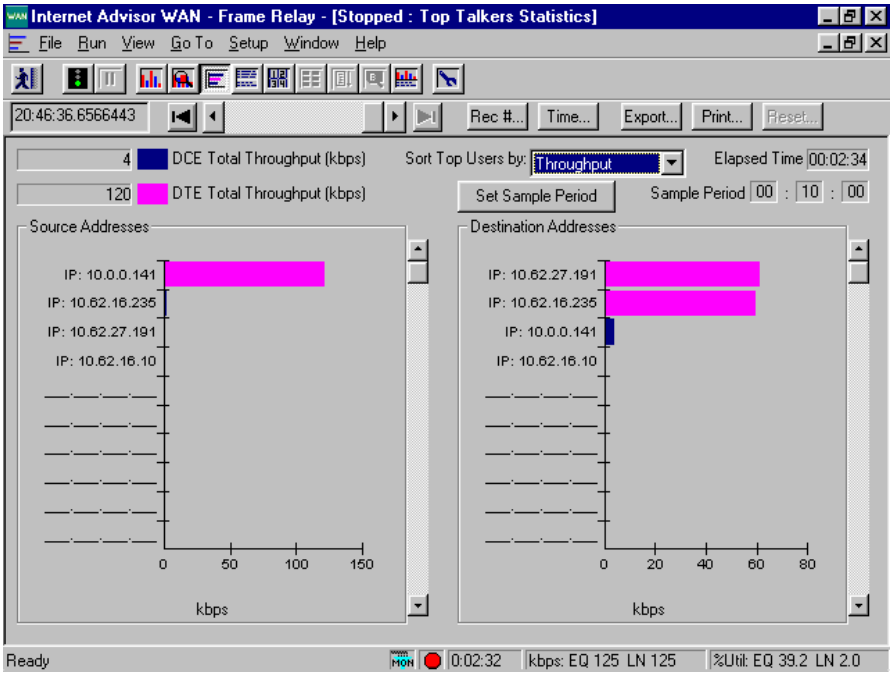


Figura 3.16: Largura de Banda consumida por máquina - WFQ

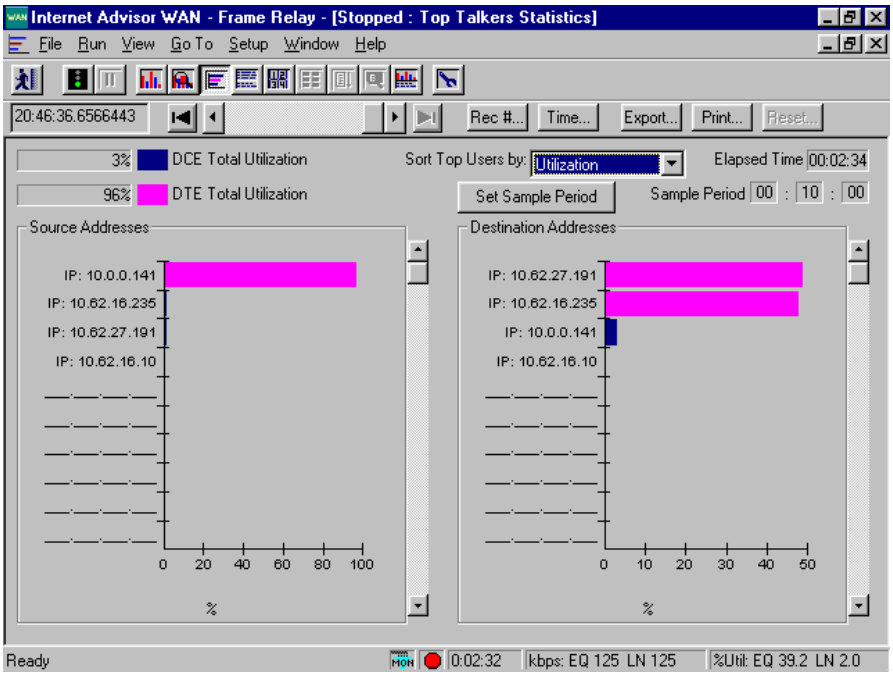


Figura 3.17: Porcentagem de utilização do link por máquina - WFQ

Semelhantemente ao que se fez no teste do modelo de Melhor Esforço, foi disparada uma seqüência de pings em paralelo com as transferências e observou-se que, ao contrário do melhor esforço (Tabela 3.9, página 44), o modelo ajustou-se automaticamente em relação ao fluxo de tráfego, de forma que não houve perda de pacotes, conforme a Tabela 3.26. Assim como os demais tráfegos, os pings também foram beneficiados com o compartilhamento justo da banda.

C:\>ping 10.62.31.230 –t
Disparando contra 10.62.31.230 com 32 bytes de dados:
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=200ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=271ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=250ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=240ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=230ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=210ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=290ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=280ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=270ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=291ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=200ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=230ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=261ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=270ms TTL=126
Resposta de 10.62.31.230: bytes=32 tempo=291ms TTL=126

Tabela 3.26: Ping em paralelo com as Transferências - WFQ

3.5.2 Fila Justa baseada em Classes – CBWFQ

Este modelo difere do anterior (WFQ) nas definições específicas das classes. Aqui, as reservas de banda e suas devidas prioridades são customizadas para cada classe.

O modelo CBWFQ requer um certo nível de configuração, de forma que se possa definir um modelo explícito de reservas e prioridades de bandas, logo, isso implica também um estudo mais criterioso para a sua aplicação.

As configurações do roteador para o modelo CBWFQ foram realizadas em três partes, conforme definição do fabricante.

Primeiramente, se fez a classificação do tráfego por intermédio da diretiva de configuração "*class-map*". Pode definir-se até 64 tipos de classes de tráfego. As definições das classes foram utilizadas como uma crítica de dados ao tráfego, de forma que se obteve um tráfego classificado.

Uma vez classificado o tráfego, cada classe teve suas prioridades e reservas de recursos alocadas mediante políticas de serviços definidas na configuração do roteador através da diretiva de configuração *"policy-map*".

Realizada a classificação e definidos os recursos necessários para cada classe, habilita-se a política estratégica de enfileiramento CBWFQ na interface do roteador. Para isso, utiliza-se da diretiva de configuração "*service-policy output*".

Para a política de estratégia, foi alocado um percentual de largura de banda para cada transferência. Ao contrário do que ocorre em Fila Customizada, onde é preciso encontrar a quantidade de bytes correspondente à porcentagem desejada, neste teste, a percentagem ficou explícita na configuração do roteador.

As transferências serão conforme a seguir:

Nome da Transferência	Tipo de Transferência
A1	Computador B1 → Computador A1
A2	Computador B1 → Computador A2
A3	Computador B1 → Computador A3

Tabela 3.27: Seqüência de transferência - CBWFQ

O roteador R1 continua com as mesmas configurações iniciais conforme Tabela 3.5 (página 41). As configurações para o modelo CBWFQ no roteador R2 seguem a seguir (Tabela 3.28).

```
hostname R2
!
class-map classe3
  match access-group 104
class-map classe2
  match access-group 103
class-map classe1
  match access-group 102
!
policy-map Politica
  class classe1
   bandwidth percent 60
  class classe2
   bandwidth percent 20
  class classe3
   bandwidth percent 20
!
interface Serial0
 encapsulation frame-relay IETF
 service-policy output Politica
 frame-relay lmi-type ansi
!
access-list 102 permit ip any host 10.62.31.230
access-list 103 permit ip any host 10.62.16.235
access-list 104 permit ip any host 10.62.27.191
!
end
```

Tabela 3.28: Configuração do roteador R2 com o modelo CBWFQ

Conforme a configuração acima, definimos três classes (classe1, classe2 e classe3) conforme as regras da lista de acessos (*access-list*). Para cada classe, definiu-se uma política de alocação de recursos de tal forma que para a classe 1 ficou reservado 60% da banda e para as classes 2 e 3 uma reserva de 20%.

Conforme os testes, na Figura 3.18, pôde constatar-se a utilização de 60% da banda para o tráfego de destino para a máquina A3 (10.62.31.230), que é o tráfego classificado como classe1 e os 20% para a máquina A2 e A1 (10.62.27.191 e 10.62.16.235 respectivamente) que é o tráfego classificado como classe2 e classe3.

A Figura 3.19 mostra os valores em kbps, confirmando os recursos alocados para cada classe.

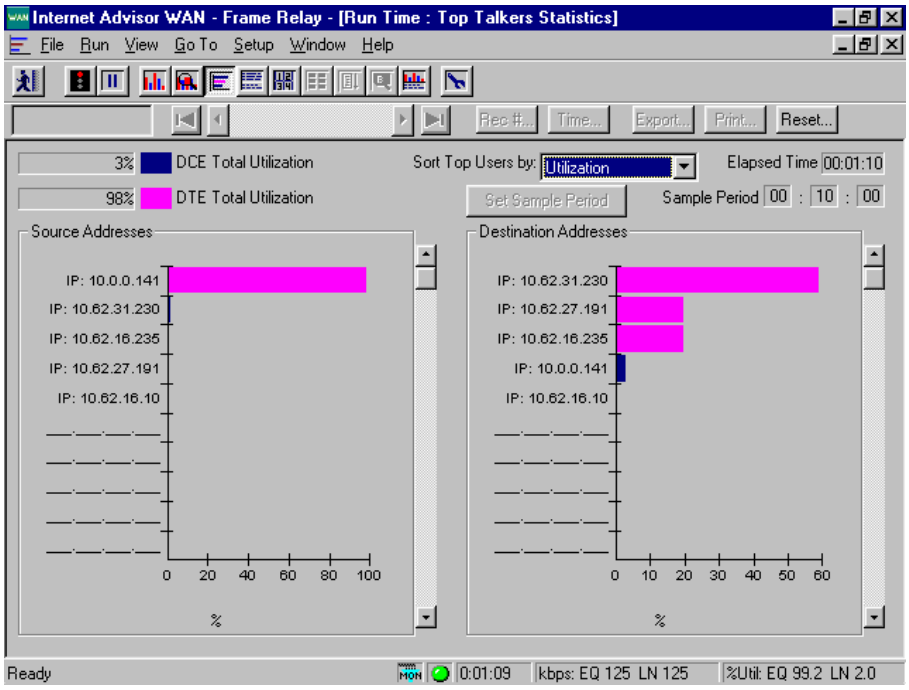


Figura 3.18: Porcentagem de utilização da banda - CBWFQ

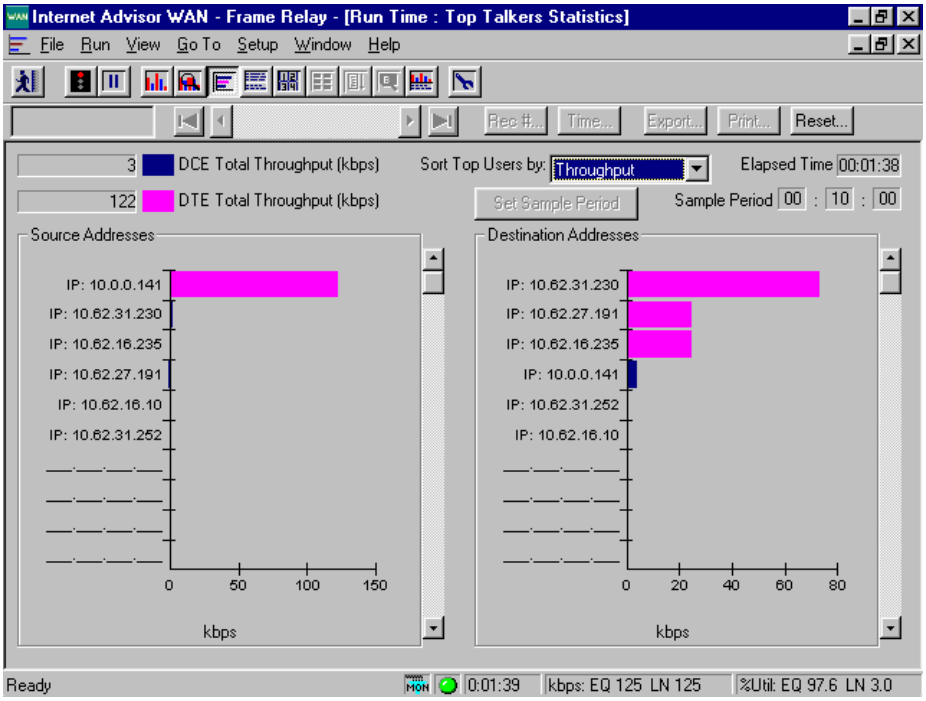


Figura 3.19: Largura de banda utilizada por cada máquina - CBWFQ

Com o propósito de confirmação da nossa teoria, com as mesmas cargas de tráfego, foram feitas ligeiras modificações na configuração do roteador R2.

Para tanto, foi definida uma nova política de tráfego, onde a Classe1 teve 50% da banda, a Classe2 30% e a Classe3 20%, conforme Tabela 3.29.

```
hostname R2
!
policy-map Politica1
  class classe1
   bandwidth percent 50
  class classe2
   bandwidth percent 30
  class classe3
   bandwidth percent 20
!
interface Serial0
 encapsulation frame-relay IETF
 service-policy output Politica1
 frame-relay lmi-type ansi
end
```

Tabela 3.29: Alteração das políticas – CBWFQ

Na Figura 3.20, constata-se a precisão do modelo no gráfico de porcentagem de utilização de banda e na Figura 3.21 o gráfico de utilização em Kbps.

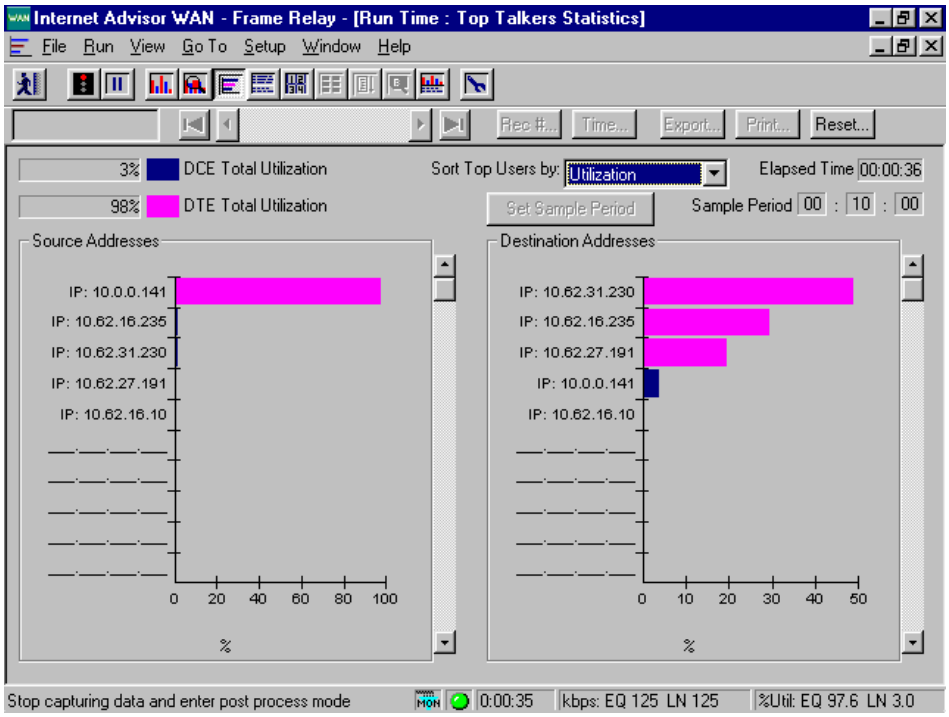


Figura 3.20: Porcentagem de utilização da banda – Politica1 -CBWFQ

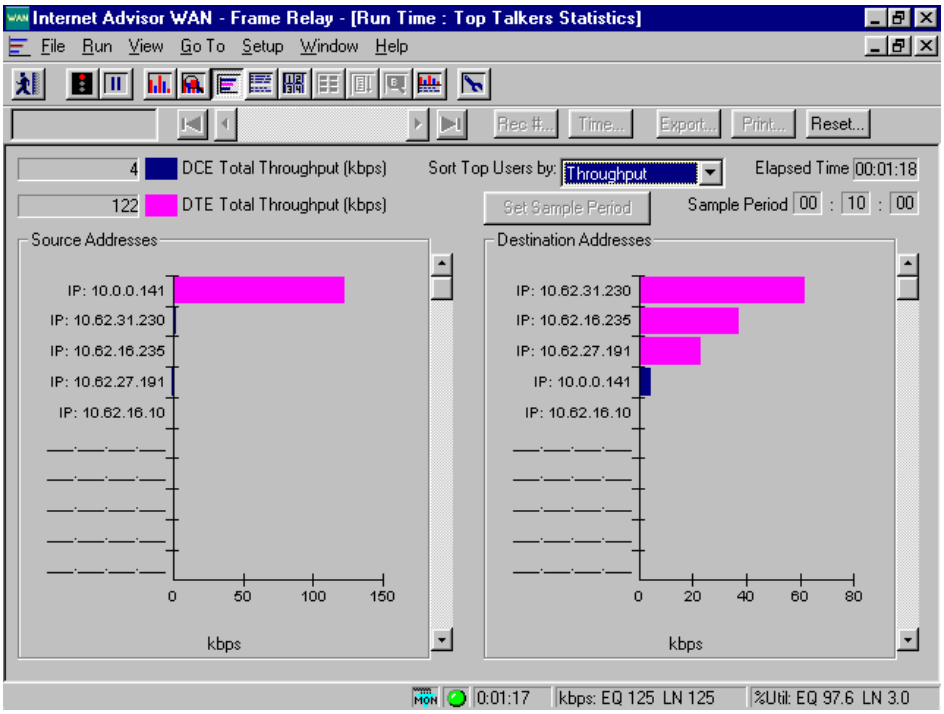


Figura 3.21: Largura da banda consumida por máquina - Política1 - CBWFQ

Realizando mais um terceiro teste, ao invés de utilizar os valores em porcentagem, foi utilizado na configuração do roteador R2 os valores em Kbps, conforme Política2 na Tabela 3.30. Agora, para a Classe1, Classe 2 e Classe 3, utilizou-se os valores de 50Kbps, 40Kbps e 35Kbps respectivamente, totalizando os 125Kbps correspondente a largura de banda do link.

Com as mesmas cargas de tráfego, observam-se os resultados obtidos por meio dos gráficos, quanto à porcentagem de utilização da largura de banda e a vazão de tráfego proporcionada a cada classe, conforme a Figura 3.22 e Figura 3.23 respectivamente.

```
hostname R2
!
policy-map Politica2
  class classe1
   bandwidth 50
  class classe2
   bandwidth 40
  class classe3
    priority 35
!
interface Serial0
 encapsulation frame-relay IETF
 service-policy output Politica2
 frame-relay lmi-type ansi
!
end
```

Tabela 3.30: Alteração das políticas – Politica2 - CBWFQ

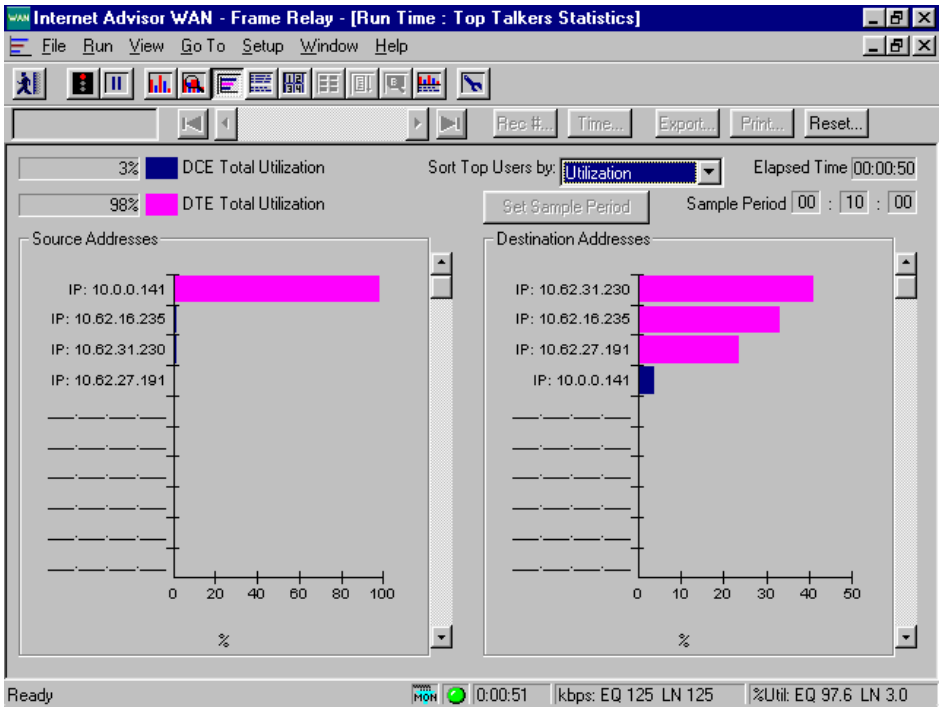


Figura 3.22: Porcentagem de utilização da banda – Politica2 - CBWFQ

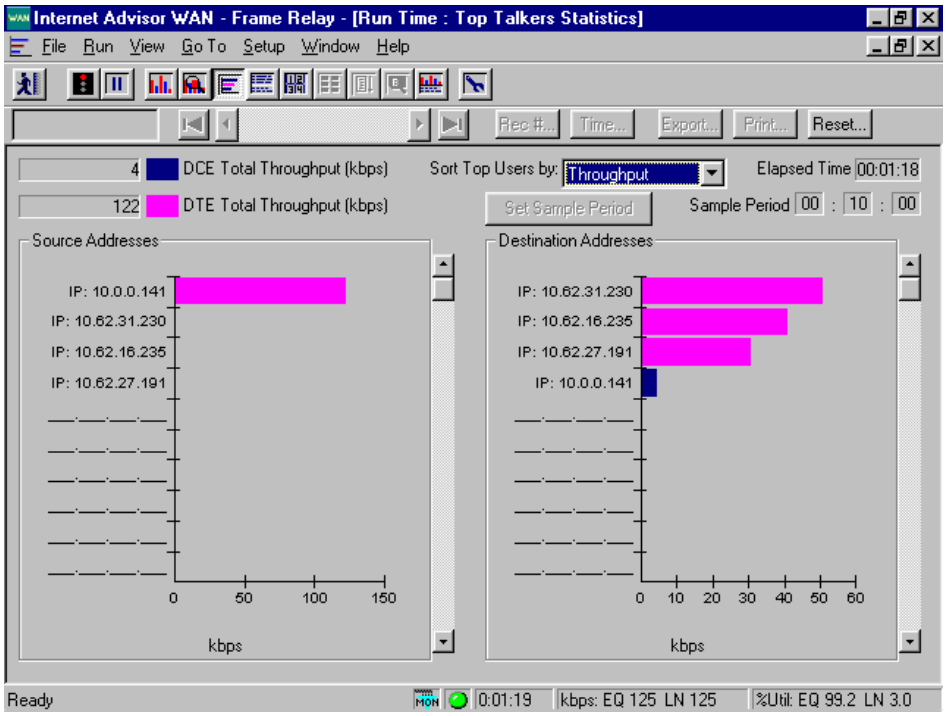


Figura 3.23: Largura de banda consumida por destino - Política2 - CBWFQ

3.5.3 Considerações - WFQ

Realmente o modelo WFQ é um modelo bastante justo e preciso em suas definições, tanto no modelo baseado no fluxo de informação quanto no modelo baseado em classes de tráfegos.

No teste com a implementação WFQ foi apresentado um modelo justo em relação ao compartilhamento do enlace de dados. A largura de banda disponível foi compartilhada proporcionalmente aos pesos. Como os pesos (que no caso foi baseado no fluxo de tráfego) eram iguais, o resultado do compartilhamento de banda também foi igualitário. Este modelo se assemelha ao modelo proposto no GPS (Compartilhamento de Processos Genéricos) no item 2.4.1 (página 24).

O modelo WFQ é a estratégia de enfileiramento padrão dotado nos roteadores que participaram dos experimentos. Se ocorrer vários fluxos de tráfego, o algoritmo disponibilizará uma porcentagem da largura de banda conforme o volume de informação. Essa estratégia pode penalizar as aplicações críticas que necessitam

de mais garantias de banda disponível, porém este é um modelo mais justo no compartilhamento da banda passante.

O modelo WFQ é um modelo muito interessante quando não se deseja definir classes diferenciadas de serviços.

O modelo baseado em classe (CBWFQ) é mais indicado do que o modelo baseado no fluxo de informação, quando se deseja realmente optar por serviços diferenciados por classes de tráfego, provendo uma qualidade de serviço mais definida, de forma que possa garantir algum nível de recursos para determinadas classes específicas.

Não se pode esquecer que esse modelo, assim como os demais mencionados, também requerem um estudo criterioso do que está sendo definido, de forma que se tenha uma definição clara de como serão aplicadas as políticas de qualidade de serviço. A não ser que o modelo de estratégia de enfileiramento seja o WFQ puro, não o modelo CBWFQ, o qual não requer um estudo detalhado e proporciona um certo nível de qualidade de serviço.

Capítulo 4

4 Contribuições deste trabalho

Após a realização dos testes, ficaram evidentes a importância e os benefícios de se implementar técnicas de QoS às redes corporativas.

Com o intuito de elaborar a melhor solução quanto ao uso das técnicas de QoS, é imprescindível uma análise da situação atual da rede e dos objetivos da empresa quanto ao uso da rede corporativa.

Depois de definido o modelo de QoS e antes da operacionalização do mesmo, com o objetivo de antever as possíveis surpresas ou problemas com a aplicação do modelo, é importante que se faça um esboço do comportamento que a rede passará a ter após a implantação do modelo escolhido.

Caso não haja nenhuma política de QoS definida ou esteja em dúvida a respeito da melhor estratégia a se utilizar, aplique o modelo WFQ até que se decida, pois é o modelo mais justo e proporcionará um certo nível de Qualidade de Serviço. Por sua vez, não deixará que algum tráfego sofra conseqüências de não ser transmitido devido à utilização total da largura de banda por outros serviços.

Mediante os testes práticos, ficou comprovado o correto funcionamento dos modelos apresentados. Pode-se comprovar que o modelo do melhor esforço (*best-effort*) já cumpriu o seu papel, contudo, as redes não suportam mais este tipo de algoritmo, exceto em casos muito específicos e com enlaces de alto desempenho.

Para as aplicações como voz e vídeo-conferência, que necessitam de baixos retardos e atrasos, o ideal é o modelo de fila de prioridades (PQ), no entanto, o modelo possui garantias absolutas às filas de maior prioridade. Se existir filas de serviços com prioridades menores, estas serão prejudicadas.

Para as demais aplicações que não envolvam garantias absolutas mas garantias de transmissão e reserva da largura de banda para classes de tráfego, o aconselhável são os modelos CQ e CBWFQ. A ressalva fica para o modelo CQ quanto aos cálculos matemáticos necessários à configuração. Assim sendo, o modelo CBWFQ é mais simples de se implementar.

Já o modelo WFQ possui a característica de ser mais justo (mais social). Com o objetivo de não deixar que as aplicações morram por indisponibilidade de transmissão, todas as aplicações ganham uma fatia da largura de banda conforme o fluxo de tráfego. Assim sendo, aplicações de baixo tráfego adquirem direitos de transmissão.

Cada modelo possui suas particularidades. A Tabela 4.1 apresenta um resumo dos modelos de QoS que foram utilizados nos experimentos:

WFQ	CBWFQ	PQ	CQ
Não possui lista de filas.	Pode ter até 64 classes de filas	Possui 4 filas	Possui 16 filas
Baixo tráfego ganha prioridade	Classes são atendidas com fidelidade	As filas de maior prioridade são atendidas primeiramente.	As filas são atendidas no esquema Round-robin.
Tráfego interativo ganha prioridade.	Garantia de banda para as classes.	Tráfego crítico ganha prioridade.	Alocação da banda disponível.
Transferências de arquivos ganham acesso balanceado	Classes são atendidas com fidelidade.	Desenvolvido para enlaces de baixa largura de banda.	Melhor apropriado para enlaces de alta largura de banda.

Tabela 4.1: Resumo das características de modelos de QoS

Devido aos diversos modelos apresentados, talvez seja difícil a escolha sobre o melhor método utilizado para determinadas redes.

Por isso, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão quanto à escolha do modelo de QoS, é apresentado na Figura 4.1 um fluxograma com o esquema para seleção de um modelo mais apropriado à determinada tarefa.

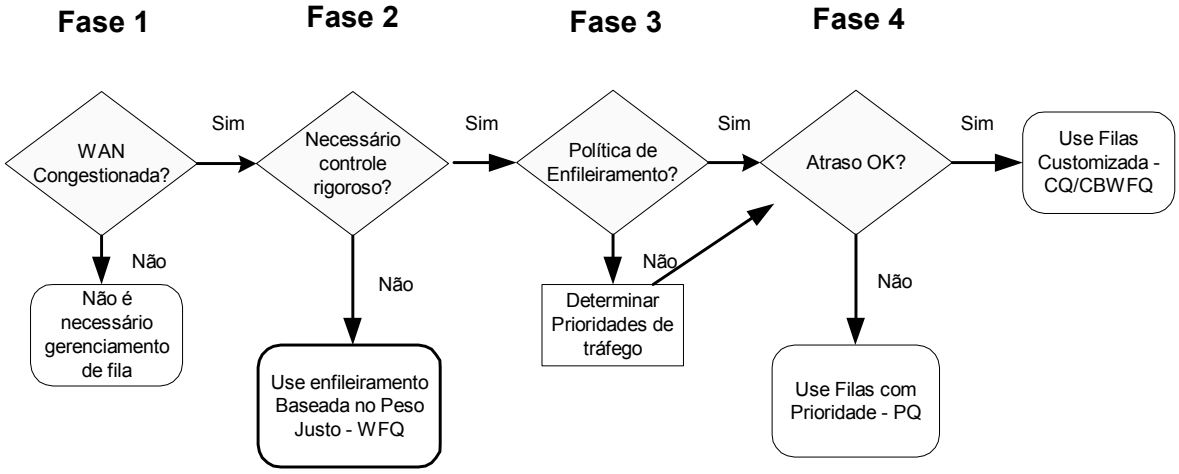


Figura 4.1: Esquema para Seleção de Modelo de QoS. [SIL 00a]

4.1 Estudo de Casos

Durante a elaboração deste trabalho, várias empresas reclamaram da performance de suas redes. Nesta seção serão apresentados alguns dos problemas ocorridos e o que foi feito para solucioná-los.

4.1.1 Otimizando o Compartilhamento da Largura de Banda

Em um dos escritórios de uma grande indústria foi autorizado um aumento da largura de banda disponível para as aplicações. Para tanto, dobraram a velocidade do enlace de dados, passando de 64 Kbps para 128 Kbps.

Nas primeiras semanas de utilização do enlace com a vazão de 128 Kbps, notaram que a performance das aplicações ficou satisfatória. Porém, não demorou muito para que chegassem novamente as reclamações. Por esse motivo, solicitou-se uma análise na rede do cliente com o objetivo de investigar o fato, pois não queriam dobrar novamente a velocidade do enlace sem antes saber o que estava acontecendo.

Além dos tempos de respostas, o principal motivo de reclamação foi devido às constantes quedas de conexão da aplicação administrativa (SAP), considerada a mais importante para a empresa.

Depois de realizada a análise da rede, constatam-se os seguintes tipos de tráfego:

- Aplicação administrativa – SAP;
- Serviços de e-mail;
- Tráfego de Internet.

Com o auxílio do analisador de protocolo, observa-se que, de todos os tráfegos existentes na rede, o principal ofensor do enlace estava sendo a aplicação de e-mail devido ao tamanho dos anexos encaminhados.

Durante a análise, não foi constatado o acesso Internet como um item ofensor ao enlace, mas devido à sua história de consumo de banda, resolveu-se classificá-lo também como um item ofensor.

Portanto, para solucionar o problema do tráfego concorrente na rede, decidiu-se aplicar recursos de Qualidade de Serviço de forma que a aplicação SAP obtenha garantias de tráfego para o perfeito funcionamento, alcançando o objetivo proposto pela empresa.

Para isso, definiu-se classificar o tráfego concorrente utilizando as seguintes estratégias:

- Utilizar o modelo CBWFQ;
- Garantir 60% da banda para a aplicação SAP;
- O restante da banda (40%) para os demais tráfegos (Internet, e-mail, e outros se porventura surgir).

Desta forma, fez-se com que a aplicação SAP tivesse sempre disponibilidade de largura de banda para as transações, tornando assim o seu perfeito funcionamento.

Vale lembrar que, caso haja disponibilidade de banda tanto para a aplicação SAP quanto aos demais tráfego, pode-se utilizar a largura de banda além do definido.

Concluído, o cliente ficou satisfeito e não houve mais reclamações de desconexão da aplicação SAP.

4.1.2 Priorização do tráfego de Voz

Outra empresa contratou um enlace de dados para uma localidade distante, com o objetivo principal de obter economia com as ligações de longa distância. Para tanto, colocou-se na matriz um roteador com duas portas de voz (FXO) ligadas ao PABX e na localidade remota um roteador com duas portas de voz (FXS).

Como o enlace estava disponível para a rede corporativa e havia mais serviços que poderiam ser agregados, resolveram fazer o uso para as aplicações de controles gerenciais e administrativos.

Logo, o pessoal responsável pela Tecnologia da Informação passou a receber reclamações com a qualidade da voz quanto à inteligibilidade da voz e das diversas repetições de fala para o perfeito entendimento.

Observou-se também que um lado escutava bem e outro lado não. Isto acontecia devido ao congestionamento de tráfego em uma única direção.

O que estava acontecendo? Observou-se que o enlace (64Kbps) estava em sua maioria ocioso e com alguns picos esporádicos de tráfego atingindo o seu limite.

Conforme a análise de rede, constatou-se que o tráfego de voz sozinho, girava em torno de 24Kbps, devido ao algoritmo de compactação de voz utilizado, possibilitando assim, outros tráfegos devido à folga do enlace.

Com o objetivo de prover melhor qualidade à aplicação de Voz sobre IP (VoIP), decidiu-se fazer uso das técnicas de QoS por intermédio do método de Filas de Prioridades. A aplicação de VoIP receberia prioridade absoluta no tráfego enquanto as demais fariam uso da banda na medida do possível, haja vista a ociosidade do enlace.

Ativados as políticas de QoS, observou-se que em determinados casos ainda acontecia picotamento da voz. Isso acontecia porque a aplicação menos prioritária era transmitida quando não havia filas mais prioritárias.

Entretanto, quando chegavam informações para a fila prioritária, esta só começava a ser servida após o término de segmento de informação iniciada.

Em face dissso, além da aplicação do recurso de QoS, diminuiu-se o tamanho do MTU, de forma que, se houvesse alguma transmissão não prioritária, esta seria terminada mais rapidamente por ser um pacote menor.

Assim, conforme as políticas definidas, teve-se o objetivo atingido.

Capítulo 5

5 Conclusão

Ao longo deste trabalho, foram comprovados as funcionalidades e os benefícios do uso de Qualidade de Serviço (QoS) em Redes Corporativas. Ficaram explícitas por meio dos testes práticos realizados, as vantagens que se pode obter com o uso de técnicas de QoS.

A demanda por velocidade, que está ligada diretamente ao requisito largura de banda e ao fator financeiro, é sempre um dos requisitos questionáveis e almejáveis pelos usuários e serviços de redes.

Contudo, mediante os recursos de Qualidade de Serviços (QoS), pode-se agora garantir certos níveis de qualidade à redes corporativas, de forma que as diversas aplicações emergentes como voz, imagem e aplicações de missão crítica, possam ter uma convivência melhor.

Vários foram os modelos de QoS apresentados ao longo deste trabalho, com suas particularidades e suas características.

O modelo FIFO (Primeiro a entrar, primeiro a sair), é o modelo conhecido como o serviço de melhor esforço (*best-effort*) ou como o modelo sem garantias de serviço. É o modelo mais utilizado atualmente pelas redes corporativas e no mundo Internet. É um serviço que já não atende mais aos níveis de exigências requeridos pela rede de comunicação e por suas aplicações e por isso necessita de mudança.

O modelo Fila de Prioridade (PQ), é um modelo onde se tem garantia de que pacotes com alta prioridade serão atendidos. É um modelo que proporciona garantia absoluta, de forma que, enquanto tiver pacotes de maior prioridade que os demais, estes serão sempre atendidos, ou seja, tráfego crítico ganha prioridade. Quanto aos pacotes de menor prioridade, estes podem chegar à situação de nunca serem atendidos, o que pode gerar, dependendo da situação, um grande problema para os demais serviços. Este modelo possui 4 tipos de filas de prioridades: alta, média, normal e baixa. É um modelo concebido para links de baixa velocidade e deve ser aplicado criteriosamente e com bastante segurança.

O modelo de Fila Customizada (CQ) possui um algoritmo que começa a aproximar-se de uma forma mais justa, onde é possível definir níveis de qualidade de serviço para várias aplicações, através das programações de suas filas (no máximo de 16), de forma que seja alocada determinada fatia da banda disponível para cada fila. Entretanto, o algoritmo garante um certo nível de transmissão de acordo com a classificação de cada fila, onde elas são ordenadas e atendidas por um certo tempo definido por um contador de byte e ciclicamente atende às demais filas por meio do esquema *round-robin*. É interessante salientar que este modelo requer alguns cálculos para se encontrar o valor do contador de byte (Conforme Tabela 3.15, página 57).

O modelo de Fila Justa baseada no peso (WFQ) é o modelo mais preciso em suas definições e o mais justo. O tráfego é compartilhado entre os diversos fluxos de acordo com o seu peso. O seu peso pode estar associado aos endereços IPs, ao protocolo utilizado ou a portas de comunicação. Este modelo evita que as filas cheguem a uma situação de morte por falta de recursos, dando, desta maneira, um serviço mais previsível, ou seja, um tráfego de baixo volume ganha prioridade e o tráfego como transferência de arquivos ganha acesso balanceado.

O modelo CBWFQ é uma variação do modelo WFQ. A diferença básica está na definição explícita das classes de filas, onde o compartilhamento da largura de banda é baseado no fluxo de tráfego no modelo WFQ. No modelo CBWFQ, o compartilhamento é baseado nas definições das classes, que pode ter até 64 tipos de classificação de filas. Uma vez definidas as reservas de largura de banda para as

filas, o que estiver sobrando e as reservas que não estiverem sendo utilizadas, passam a se comportar de maneira WFQ, ou seja, de acordo com o fluxo.

Confirmando o mencionado nos testes realizados quanto à escolha do modelo a ser utilizado, tal questão deve ser estudada de maneira criteriosa e aplicada com a devida segurança. Isso porque um modelo pode ser bom para uma determinada situação e execrável para outras situações. Qualquer modelo que se utiliza requer um estudo detalhado acerca do nível de qualidade almejado. O estudo detalhado faz-se necessário para evitar que algum tráfego, não menos prioritário, seja prejudicado com o modelo de QoS selecionado.

Neste trabalho, o leitor poderá obter um bom conhecimento a respeito do assunto, de forma que se sinta seguro ao usar as técnicas de QoS em redes corporativas. Dessa forma, acredita-se que este trabalho possa contribuir, principalmente, com as empresas que desejam utilizar-se dessas técnicas.

É fato que o conhecimento sobre o assunto não termina por aqui, este trabalho é o início de uma série de outros que surgirão, pois sempre existirá uma busca por redes de melhor desempenho e com mais qualidade. Sem dúvida, ainda se tem muito a desvendar e a estudar a respeito de QoS, contudo, é satisfatório poder constatar a evolução do conhecimento acerca do tema até o momento.

A Qualidade de Serviço em Redes Corporativas é uma realidade.

5.1 Trabalhos Futuros

A verdadeira Qualidade de Serviço é questão deveras importante e complexa que engloba vários itens. Dentre eles, destacam-se:

- Controle do tráfego gerado na rede;
- Controle dos equipamentos ativos da rede (Hub, switch e roteadores);
- Controle da carga de processamento dos servidores;
- Controle do tráfego das aplicações;
- Controle sobre possíveis vírus, e outros.

Entretanto, faz-se necessário um acompanhamento e controle de todos os itens fim-a-fim (hardware e software) que fazem parte do parque tecnológico de

informação da corporação, tendo em vista a busca pelo sucesso de uma verdadeira Qualidade de Serviço.

No presente trabalho foram apresentadas as técnicas de Qualidade de Serviço que se adequam às redes corporativas. Com o intuito de continuidade deste estudo, seria interessante fazer um estudo de Qualidade de Serviço enfocando os núcleos das redes das operadoras de telecomunicações, para que se atinja uma qualidade de serviço garantida ponta-à-ponta para o âmbito WAN.

Assim, o estudo da técnica MPLS agregará maior completude a este trabalho, pois é uma técnica recente e que apresenta, a cada dia, mais implementações nos núcleos das operadoras, além de outras vantagens implícitas no MPLS, como a característica de prover recursos de Qualidade de Serviço – QoS.

Referências Bibliográficas

[BLA 98] BLAKE, S. Network Working Group. Request for Comments 2475. An Architecture for Differentiated Services. December 1998. http://www.ietf.org/rfc/rfc2475.txt

[COM 95] COMER, D. Internetworking winth TCP/IP - Volume I. 1995. Prentice Hall

[HEI 99] HEINANEN, J. Network Working Group. Request for Comments 2597. Assured Forwarding PHB Group. June 1999. http://www.ietf.org/rfc/rfc2597.txt

[JAC 99] JACOBSON, V. Network Working Group. Request for Comments 2598. An Expedited Forwarding PHB. June 1999. http://www.ietf.org/rfc/rfc2598.txt

[MAR 99] MARTINS, J. Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP – Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos. 1999. http://www.jsmnet.com/info_tecnica4.htm

[MES 98] MESANCÉ, D; ALMEIDA, V. Capacity Planning for Web Performance, metrica, models e methods. 1998. Prentice Hall

[NAG 84] NAGLE, J. Network Working Group. Request for Comments 896. Congestion Control in IP/TCP Internetworks. January 1984. http://www.ietf.org/rfc/rfc896.txt

[NIC 98] NICHOLS, K. Network Working Group. Request for Comments 2474. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers. December 1998. http://www.ietf.org/rfc/rfc2474.txt

[POS 81] POSTEL, J. Defense Advanced Research Projects Agency. Request for Comments 791: Internet Protocol Specification. September 1981. http://www.ietf.org/rfc/rfc791.txt

[SIL 00a] SILVA, A. Qualidade de Serviço em VoIP – Parte I. RNP – Rede Nacional de Ensino e Pesquisa. 12 de maio de 2000. Volume 4. Número 3. http://www.rnp.br/newsgen/0005/qos_voip1.html

[SIL 00b] SILBERSCHATZ, A. Sistemas Operacionais: Conceitos e aplicações. Editora Campus. 2000.

[STE 97] STEVENS, W. Network Working Group. Request for Comments 2001. TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit, and Fast Recovery Algorithms. January 1997. http://www.ietf.org/rfc/rfc2001.txt

[STE 94] STEVENS, R. W. TCP/IP Illustrated: the protocols. Volume 1. 1994. Addison Wesley

[TAN 96] TANENBAUM, A. Computer Networks. 1996. Prentice Hall

[VEG 02] VEGESNA, S. IP Quality of Service. 2002. Cisco Press