

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONFIGURAÇÃO E GERENCIAMENTO DE
SERVIDORES E EQUIPAMENTOS DE REDES**

KARINE ELOISE MORAES

**PROVISIONAMENTO DE QOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE
ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO DE PACOTES**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2011

KARINE ELOISE MORAES

**PROVISIONAMENTO DE QOS: ESTUDO COMPARATIVO ENTRE
ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO DE PACOTES**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes, do Departamento Acadêmico de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Kendy Horikawa Nabas

CURITIBA

2011

Ao meu marido Adriano, pelo incentivo, apoio, compreensão, dedicação, mas principalmente amor.

Aos meus pais, pelo exemplo de vida.

RESUMO

MORAES, Karine E. Provisionamento de QoS: Estudo comparativo entre algoritmos de escalonamento de pacotes. 2011. 40 f. Monografia (Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

Escalabilidade, gerenciamento eficiente e controle de Quality of Service (QoS) sustentam o rápido crescimento da Internet, formando as bases para um apoio efetivo as mais diversas aplicações. A fim de alcançar níveis de QoS em redes IP, deve-se utilizar diversos mecanismos como protocolos de sinalização, algoritmos de prioridade, controle de filas, congestionamento e escalonamento. Este último torna-se uma disciplina de vital importância dentro do contexto explorado, garantindo que o fluxo de dados seja atendido dentro de parâmetros pré-estabelecidos. Assim, o presente trabalho vem a expor um estudo sobre os principais algoritmos de escalonamento de pacotes PQ, CBQ e WFQ, avaliando pontos positivos e negativos dos mesmos.

Palavras-chave: Qualidade de Serviço. Escalonamento de pacotes. PQ. CBQ. WFQ.

ABSTRACT

MORAES, Karine E. Provisionamento de QoS: Estudo comparativo entre algoritmos de escalonamento de pacotes. 2011. 40 f. Monografia (Especialização em Configuração e Gerenciamento de Servidores e Equipamentos de Redes) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Federal University of Technology of Paraná, Curitiba, 2011.

Scalability, efficient management and Quality of Service (QoS) control support the rapid growth of the Internet, forming the basis for an effective support to many different applications. In order to achieve levels of QoS in IP, networks should use different mechanisms such as signaling protocols, algorithms, priority queues control, congestion and scheduling. The latter becomes a subject of vital importance within the explored context, ensuring that the data stream to be served within pre-established parameters. Thus, this work presents an study of a major packet scheduling algorithms PQ, CBQ E WFQ, evaluating strengths and weaknesses of them.

Keywords: Quality of Service. Scheduling Algorithms. PQ. CBQ. WFQ.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Descarte de pacotes em um roteador	17
Figura 2: Exemplo de variação de atraso (jitter).....	18
Figura 3: Arquitetura Melhor Esforço.....	20
Figura 4: Arquitetura Serviços Integrados	21
Figura 5: Funcionamento do protocolo RSPV	22
Figura 6: Arquitetura Serviços Diferenciados	23
Figura 7: Componentes de um roteador.....	24
Figura 8: Filas de entrada e saída.....	25
Figura 9: Escalonador FIFO	29
Figura 10: Escalonador PQ	30
Figura 11: Mecanismo CQ.....	31
Figura 12: Escalonador FQ	32
Figura 13: Mecanismo WFQ.....	33

LISTA DE SIGLAS

CQ	Custom Queueing
DiffServ	Differentiated Service
DSCP	Differentiated Service Code Point
FIFO	First In First Out
FQ	Fair Queueing
GPS	Generalized Processor Sharing
IETF	Internet Engineering Task Force
IntServ	Integrated Service
IP	Internet Protocol
OSI	Open Systems Interconnection
PQ	Priority Queueing
QoS	Quality of Service
RED	Random Early Detection
RSVP	Resource Reservation Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
VoIP	Voice over Internet Protocol
WFQ	Weighted Fair Queueing
WRR	Weighted Round Robin

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	10
1.1	TEMA.....	10
1.2	PROBLEMA.....	11
1.3	OBJETIVOS.....	12
1.3.1	OBJETIVO GERAL.....	12
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.4	JUSTIFICATIVA.....	12
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	13
1.6	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	13
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	14
2.	QUALIDADE DE SERVIÇO.....	15
2.1.	CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO.....	15
2.1.1.	AUMENTO DA LARGURA DE BANDA.....	16
2.1.2.	DESCARTE DE PACOTES.....	17
2.1.3.	CONTROLE DE ATRASO VARIÁVEL (JITTER).....	17
2.2.	MECANISMOS PARA EVITAR CONGESTIONAMENTO.....	18
2.2.1.	DROP TAIL.....	18
2.2.2.	RANDOM EARLY DETECTION (RED).....	19
3.	ARQUITETURAS DE QUALIDADE DE SERVIÇO.....	20
3.1.	MELHOR ESFORÇO.....	20
3.2.	SERVIÇOS INTEGRADOS.....	21
3.3.	SERVIÇOS DIFERENCIADOS.....	22
4.	ESTRUTURA DOS ROTEADORES.....	24
4.1.	PORTAS DE ENTRADA.....	25
4.2.	PORTAS DE SAÍDA.....	25
4.3.	PROCESSADOR DE ROTEAMENTO.....	26
4.4.	CIRCUITOS DE COMUTAÇÃO.....	26
5.	ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO.....	28
5.1.	FIRST IN FIRST OUT (FIFO).....	28
5.2.	PRIORITY QUEUEING (PQ).....	29
5.3.	CUSTOM QUEUEING (CQ) OU CLASS-BASED QUEUEING (CBQ).....	30

5.4.	FAIR QUEUEING (FQ)	31
5.5.	WEIGHTED FAIR QUEUEING (WFQ).....	32
5.6.	WEIGHTED ROUND ROBIN (WRR)	33
5.7.	GENERALIZED PROCESSOR SHARING (GPS).....	33
5.8.	COMPARATIVO ENTRE ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO	34
5.8.1.	PQ.....	34
5.8.2.	CBQ	35
5.8.3.	WFQ.....	35
6.	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS.....	37

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é exposto a delimitação do tema deste trabalho, sua justificativa seus objetivos, procedimentos metodológicos e um breve embasamento teórico.

1.1 TEMA

A Internet tornou-se a base para a execução de aplicações destinadas aos mais diversos fins, como por exemplo, telecomunicações e entretenimento. Deste modo, escalabilidade, gerenciamento eficiente e controle de Quality of Service (QoS) sustentam o rápido crescimento da Internet, formando as bases para um apoio efetivo as mais diversas aplicações (PRIETO, 2001, p. 1). Dentro dessa perspectiva a capacidade de suportar QoS pela infra-estrutura de rede torna-se uma característica necessária, na qual modelos de arquiteturas, como de Serviços Integrados e Serviços Diferenciados, se propõem a atender.

Os Serviços Integrados (IntServ) (BRADEN, 1994, p. 4) necessitam que aplicações sinalizem seus pedidos de serviço para a rede a partir de pedidos de reserva. Esta alternativa não apresenta a escalabilidade necessária para o âmbito de uma Internet global. Os Serviços Diferenciados (DiffServ) (BLAKE, 1998, p. 8), (JACOBSON, 1999, p. 2), fornecem maior escalabilidade por intermédio da agregação de fluxos de dados. A utilização destes modelos visa basicamente fornecer controle sobre recursos da rede e garantias de que certos parâmetros no fornecimento de serviços serão mantidos entre níveis pré-acordados sobre uma arquitetura de rede (modelo TCP/IP) a qual não provê nativamente tais características.

Desta forma é possível atender a requisições de tráfego de aplicações que exigem cada vez maior largura de banda, como as aplicações multimídia e VoIP - imprescindíveis em uma rede de âmbito global a qual está se tornando cada vez mais uma mídia orientada a negócios em um mundo globalizado (LEE, 2004, p. 1). Dentro deste contexto é de notável importância a utilização de técnicas que

garantam QoS, atendendo a diferentes exigências dos mais diversos tipos de aplicações e também as diferentes expectativas dos usuários quanto aos serviços oferecidos.

De acordo com esta temática, o presente trabalho trabalhará com o estudo comparativo entre algoritmos de escalonamento de pacotes, a fim de mostrar as vantagens e desvantagens dos mesmos.

1.2 PROBLEMA

A arquitetura TCP/IP (SOCOLOFSKY, 1991, p. 1) foi concebida para promover a comunicação fim-a-fim entre redes heterogêneas de forma simples. O protocolo da Internet (IP) encarrega-se de entregar as unidades que compõe a informação a ser enviada através da rede (datagramas) independentemente do destino. Porém, tal protocolo não oferece um tratamento que priorize ou dê garantias para o tráfego de datagramas sendo transmitidos, ou seja, sem garantias de qualidade de serviço (QoS). Este modelo é chamado de melhor esforço (*Best-effort Service*).

As aplicações, que estão sendo desenvolvidas, são cada vez mais exigentes e são servidas pela técnica de “melhor esforço” das redes TCP/IP. Esta técnica, ainda atual, não é um problema para quem pode dispor de redes de alta velocidade, mas para quem tem recursos limitados, esta técnica é ineficiente. Os fluxos são tratados de maneira igualitária, e isto ocasiona perda de desempenho dos aplicativos vitais para as instituições nos momentos de maior concorrência (MELO, 2005, p. 18).

A fim de alcançar níveis de QoS em redes IP deve-se utilizar diversos mecanismos como protocolos de sinalização, algoritmos de prioridade, controle de filas, congestionamento e escalonamento. Este último torna-se uma disciplina de vital importância dentro do contexto explorado, garantindo que o fluxo de dados seja atendido dentro de parâmetros pré-estabelecidos. Assim, o presente trabalho vem a expor um estudo sobre os principais algoritmos de escalonamento de pacotes, avaliando pontos positivos e negativos dos algoritmos *Priority Queuing* (PQ), *Class Based Queuing* (CBQ) e *Weighted Fair Queuing* (WFQ).

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho vem a expor mecanismos e técnicas para garantir qualidade de serviço fim-a-fim de acordo com a necessidade de cada cliente, diferenciando usuários finais que necessitam que alguns parâmetros sejam mantidos a partir de acordos pré-estabelecidos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar técnicas e mecanismos para obtenção de QoS.
- Analisar a literatura a respeito de escalonadores de pacotes.
- Identificar vantagens e desvantagens dos escalonadores PQ, CBQ e WFQ.

1.4 JUSTIFICATIVA

A importância da Internet hoje como um meio de comunicação deve ser relevante, pois é pelo uso desta tecnologia que muitas empresas trabalham a longas distâncias da mesma forma como se estivessem todas as suas filiais em um mesmo prédio. A computação em nuvem utiliza a Internet para levar a informação a todo lugar que possua acesso a mesma. Mas, com os avanços tecnológicos, as empresas necessitam cada vez mais da alta performance desta tecnologia, pois o tempo dispensado para as atividades deve ser o menor possível para realizar o maior número possível destas. Motivado com esta necessidade, este trabalho tem por objetivo avaliar mecanismos e técnicas para garantir a melhor qualidade de serviço fim-a-fim de acordo com a necessidade de cada cliente.

Através de uma avaliação de disciplinas de escalonadores de pacotes, pode-se fornecer uma visão mais clara de suas utilizações para obtenção de QoS e garantindo desta forma o atendimento as demandas de clientes da rede.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia empregada nesta monografia é de natureza científica aplicada, pois é uma investigação original concebida pelo interesse em adquirir novos conhecimentos. É, entretanto, primordialmente dirigida em função de um fim ou objetivo prático específico (MANUAL FRASCATI apud AGUIAR, 1991, p. 10).

O propósito da pesquisa é explicativa, pois deseja identificar as vantagens e desvantagens dos algoritmos de escalonamento de pacotes, analisando os aspectos de cada método utilizado para garantir a qualidade de serviço desejada. A técnica e o campo de apreensão deste trabalho são bibliográficos, pois se baseiam em referenciais teóricos desenvolvidos na área.

1.6 EMBASAMENTO TEÓRICO

Ao longo dos últimos anos a Web tem agregado funcionalidades em atendimento às necessidades de um crescente número de utilizações inovadoras e tornando-se uma das mais populares e importantes aplicações da Internet (PEIXOTO, 2008, p. 27). Sendo assim, cresce também o número de requisições feitas à Internet, e esta precisa oferecer uma infra-estrutura que consiga suprir a necessidade de todos os usuários que dela utilizam.

O gerenciamento dessas requisições é feito de forma simples, as primeiras requisições que chegam ao servidor Web são as primeiras a serem atendidas, desta forma não existe privilégios a nenhum processo que possa ser mais importante que outros. O motivo deste ponto é o modelo atual da Internet (modelo de atendimento conhecido como *best-effort*), que não permite priorizar o atendimento de certas requisições oriundas de um dado cliente (FIGUEIREDO, 2011, p. 15).

A implementação da qualidade de serviços sobre redes IP fica aparente, e a partir de um estudo direcionado aos métodos e técnicas existentes, serão identificadas vantagens e desvantagens de utilizar algoritmos de escalonamento de pacotes para garantir a qualidade esperada na entrega do serviço fim-a-fim.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em seis capítulos que descrevem os conceitos principais utilizados para analisar o escalonadores de pacotes. No capítulo 1 está descrito a parte introdutória do trabalho. No capítulo 2 são tratados os conceitos de Qualidade de Serviço. O capítulo 3 aborda as arquiteturas da Qualidade de serviço, descrevendo cada uma delas. No capítulo 4 é tratado da estrutura dos roteadores e seu funcionamento. O capítulo 5 descreve os algoritmos de escalonamento de pacotes, e considerações sobre os principais algoritmos. Por fim, o capítulo 6 apresenta a conclusão deste trabalho.

2. QUALIDADE DE SERVIÇO

O modelo atual de serviços da Internet, de forma geral, trata todas as requisições de modo equivalente, seja quando processadas pelos servidores, ou quando transmitidas ao longo da rede. O grande crescimento e diversificação de suas aplicações têm exigido mudanças sobre esse paradigma de serviço, tornando a questão qualidade de serviço cada vez mais crítica e importante, uma necessidade para a evolução da Internet, principalmente no segmento da utilização comercial (Bhatti *et al.*, 2000; Strnadl, 2002).

O termo qualidade de serviço (*Quality of Service – QoS*) se refere às garantias de desempenho estatístico que um sistema de rede pode dar com relação à perda, retardo, vazão e *Jitter* (COMER, 2006).

Qualidade de serviço é um conceito que possui sua base fundamentada na idéia de que nem todas as aplicações necessitam do mesmo desempenho durante suas execuções (FLUCKINGER, 1995). Uma definição de QoS seria a capacidade dos elementos de rede (roteadores e *switchs*) em fornecer uma medida para evitar atrasos e de alguma forma garantir largura de banda, mantendo os acordos de tráfego (STARDUST, 1999, p.9).

Para que se entenda bem a qualidade de serviço é necessário conhecer alguns conceitos como de controle de congestionamento.

2.1. CONTROLE DE CONGESTIONAMENTO

Quando temos pacotes em excesso em uma sub-rede, ou parte de uma sub-rede, o desempenho da rede se degrada e dizemos que temos um congestionamento. Uma rede congestionada pode chegar à condição de impasse (*deadlock*) (COMER, 2006).

Quando o tráfego aumenta muito, os roteadores já não são capazes de suportá-lo e começam a perder pacotes (TANENBAUM, 2003). Uma rede que perde muitos pacotes é considerada ruim, pois não consegue entregar a informação correta que

lhe foi encarregada de enviar e ainda necessita reenviar esses pacotes perdidos, que resulta em mais congestionamento da rede.

Segundo Couto (2007), quando o número de pacotes depositados na sub-rede pelos *hosts* está dentro de sua capacidade de transporte, eles são todos entregues (exceto alguns que sofram com erros de transmissão), e o número entregue é proporcional ao número enviado.

Os possíveis fatores que proporcionam congestionamento em um ambiente de rede são: os roteadores possuem processadores lentos; incompatibilidade entre sistemas; linhas de baixa largura de banda; ou vários transmissores concorrem por roteador/*link* compartilhado (ABBASOV & KORUKOGLU, 2009). Algumas redes tentam evitar o congestionamento pelo controle de fluxo, embora seja impossível controlar a quantidade total de tráfego na rede usando regras de controle de fluxo fim a fim (SOARES, 1995). Existem ainda mecanismos presentes nos roteadores para controlar o congestionamento na rede, como os algoritmos de gerenciamento de filas. A funcionalidade desses algoritmos é gerenciar o tamanho das filas ou utilização do *link* no *gateway*, sendo realizado o processo de descarte ou de aceitação de pacotes quando apropriado (ARCE et al., 2003). Para descartar pacotes deve ser feito primeiramente uma seleção destes, baseado em alguma política da rede.

Alguns parâmetros são necessários para se implementar a qualidade de serviço numa rede a fim de evitar possíveis congestionamentos.

2.1.1. AUMENTO DA LARGURA DE BANDA

A largura de banda é uma medida de capacidade de transmissão de dados, normalmente expressa em kilobits por segundo (Kbps), megabits por segundo (Mbps) ou gigabits por segundo (Gbps). A largura de banda indica a capacidade máxima de transmissão teórica de uma conexão (COUTO, 2007, p.27).

Aparentemente, aumentar a largura de banda numa rede resolveria o problema de congestionamento, porém a medida que aumenta a banda, a quantidade de computadores utilizando esta rede também aumenta e novas aplicações também

são criadas para utilizar essa banda, portanto em pouco tempo essa solução seria abandonada.

2.1.2. DESCARTE DE PACOTES

Se um pacote chegar a um nó da rede e não houver espaço para armazená-lo ele é simplesmente jogado fora (SOARES, 1995). Esse descarte indiscriminado pode significar desperdício de recurso, tendo em vista que operações de aceitação e fechamento de conexões são custosas, especialmente em situações de sobrecarga (CASAGRANDE, 2007, p. 13).

A figura 1 demonstra o processo de descarte realizado pelo roteador, no momento em que a fila está cheia rejeitando o próximo pacote.

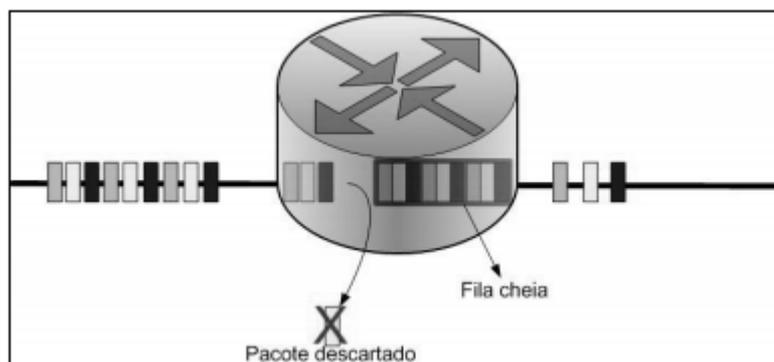


Figura 1: Descarte de pacotes em um roteador
Fonte: adaptado de Couto (2007, p. 28)

2.1.3. CONTROLE DE ATRASO VARIÁVEL (JITTER)

Jitter pode ser entendido como a variação no tempo e na seqüência de entrega das informações (pacotes) devido à variação na latência (atrasos) da rede (SANTANA, p. 11). Na figura 2 é ilustrada a variação de atrasos na propagação de pacotes na rede.

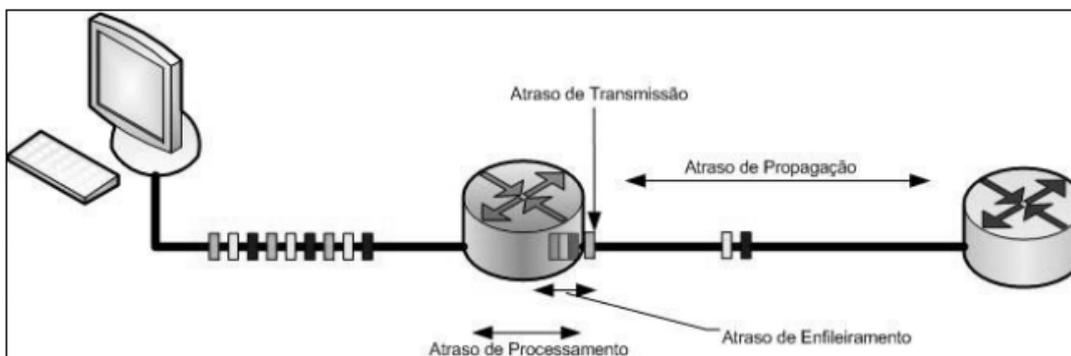


Figura 2: Exemplo de variação de atraso (jitter)

Fonte: adaptado de Couto (2007, p. 29)

Se a rede tem *jitter* zero, significa que cada pacote leva exatamente o mesmo tempo para atravessar a rede (COMER, 2007, p. 239).

2.2. MECANISMOS PARA EVITAR CONGESTIONAMENTO

Os mecanismos de controle de congestionamento são também importantes para a implantação da qualidade de serviço numa rede. A idéia básica destes mecanismos é a inibição dos fluxos de pacotes durante o período de congestionamento de forma que os geradores de fluxos de pacotes reduzam a sua carga sobre a rede (SANTANA, p. 23).

As técnicas para evitar congestionamento monitoram a carga do tráfego de rede, de modo a antecipar e evitar o congestionamento em épocas de gargalos de rede (ARDEOLA, 2001, p. 82). Alguns mecanismos de controle de congestionamento serão descritos a seguir.

2.2.1. DROP TAIL

Um método tradicional de gerenciamento de filas é definido pelo algoritmo *Drop Tail*, pois seu funcionamento consiste em descartar as requisições quando ultrapassar o valor máximo da fila (FIROIU & BORDEN, 2000), no qual é

estabelecido um comprimento máximo para cada fila e são aceitos os pacotes para preencher a fila. Os pacotes subseqüentes são rejeitados, até a diminuição da fila (FORONDA *et al.*, 2004, p. 4-5).

2.2.2. RANDOM EARLY DETECTION (RED)

O mecanismo RED foi proposto por Floyd e Jacobson em 1990, para endereçar congestionamento de rede em resposta à maneira tradicional, esse mecanismo está baseado na premissa de que a maioria do tráfego roda em implementações de transporte de dados, as quais são sensíveis a perda, e em determinados períodos sofre um atraso devido ao descarte do seu tráfego. O TCP, que responde apropriadamente ao descarte do tráfego através de técnicas de atraso no envio do mesmo, permite a utilização do RED como um mecanismo de sinalização para evitar congestionamento (ARDEOLA, 2001, p. 82).

Com o RED é possível controlar o tamanho médio da fila indicando aos hosts quando eles devem transmitir seus pacotes mais lentamente.

3. ARQUITETURAS DE QUALIDADE DE SERVIÇO

A qualidade de serviço pode ser dividida em 3 arquiteturas: Melhor Esforço (*Best-Effort*), Serviço Integrado (IntServ) e Serviço Diferenciado (DiffServ), essas arquiteturas se referem a capacidade que a rede tem de garantir a entrega do serviço requerido.

3.1. MELHOR ESFORÇO

O serviço de melhor esforço funciona quando a rede fará o possível para entregar o pacote ao seu destino, porém é um estado conhecido como sem QoS, é o comportamento predominante na internet. Caracterizado por uma única fila de tráfego e o tratamento é feito com FIFO (*first in first out*), sendo assim não há tratamento diferenciado do tráfego das aplicações (COUTO, 2007, p. 31).



Figura 3: Arquitetura Melhor Esforço
Fonte: adaptado de Santana (2006, p. 24)

3.2. SERVIÇOS INTEGRADOS

Segundo Couto (2007, p. 31), o modelo de serviços integrados garante à aplicação serviço de QoS negociando parâmetros de rede no momento de estabelecimento da comunicação. As aplicações solicitam um nível de serviço pré-estabelecido para operarem apropriadamente e confiam no mecanismo de QoS solicitado para reservar recursos na rede necessários para começar a transmissão dos dados e só começarão a transmissão depois que receberem uma sinalização da rede informando que a rede pode receber a carga de dados que a aplicação quer enviar.

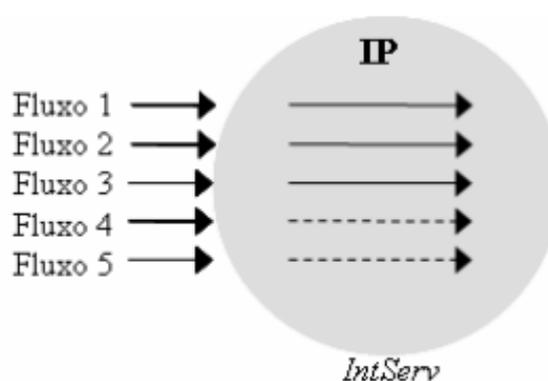


Figura 4: Arquitetura Serviços Integrados
 Fonte: adaptado de Santana (2006, p. 24)

O protocolo utilizado para troca de mensagens de reserva e sinalização é o RSVP (*Resource Reservation Protocol*) (BRADEN, 1997). De acordo com Martins (1999), as aplicações solicitam suas requisições de QoS da seguinte maneira:

- a aplicação cliente verifica quais parâmetros de QoS são necessários;
- a aplicação cliente utiliza o protocolo RSVP para que a rede garanta suas requisições;
- a rede verifica a possibilidade de aceitação da requisição, tentando garantir a reserva de recursos solicitados;
- aceita a reserva, o tráfego dos dados proveniente da aplicação é identificado e roteado de acordo com a sua identificação e reserva.

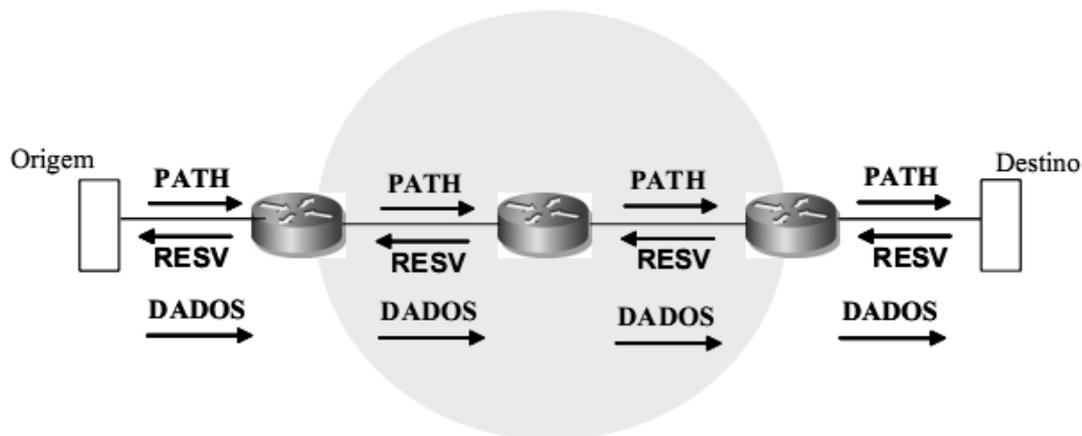


Figura 5: Funcionamento do protocolo RSPV
 Fonte: adaptado de Santana (2006, p. 26)

Os serviços integrados foram desenvolvidos para otimizar a utilização de redes e recursos para novos aplicativos, como multimídia em tempo real, por exemplo, que sofrem com os retardos de roteamento e perdas devido a congestionamentos (LEAL, 2004).

3.3. SERVIÇOS DIFERENCIADOS

Nesse modelo os dados são previamente marcados conforme os tipos de requisições de recursos, sendo essa marcação feita através de um rótulo (DSCP – *Differentiated Service Code Point*). O DiffServ não implementa nenhum tipo de reserva de recursos (MARTINS, 1999), mas sim são alocados previamente para cada uma das classes definidas em cada um dos dispositivos e utilizados quando há disputa por recursos (SANTANA, 2006, p. 30).

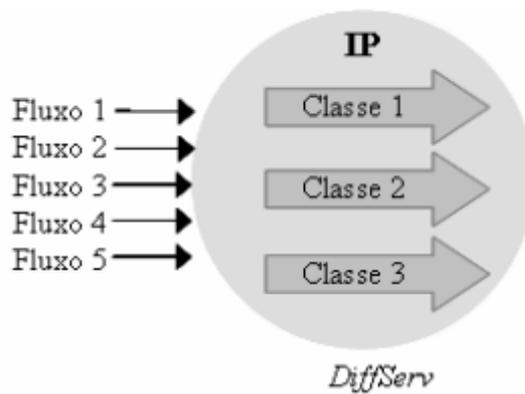


Figura 6: Arquitetura Serviços Diferenciados
Fonte: adaptado de Santana (2006, p. 24)

4. ESTRUTURA DOS ROTEADORES

Um roteador é o elemento fundamental para o encaminhamento de pacotes através de diferentes caminhos em uma rede. Através dele ocorre a comunicação entre redes distintas. O roteador é um elemento presente na camada de inter-rede na arquitetura TCP/IP ou camada de rede do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*).

Internamente, para o encaminhamento de pacotes, o roteador realiza a verificação do cabeçalho de cada pacote a fim de determinar a interface de saída para a qual deverá encaminhá-lo ao próximo nó do caminho. O modelo para a realização desta atividade pode possuir diversas abordagens distintas, mas um modelo básico pode ser utilizado para descrever a arquitetura de um roteador. Isto é exposto através da Figura 3.

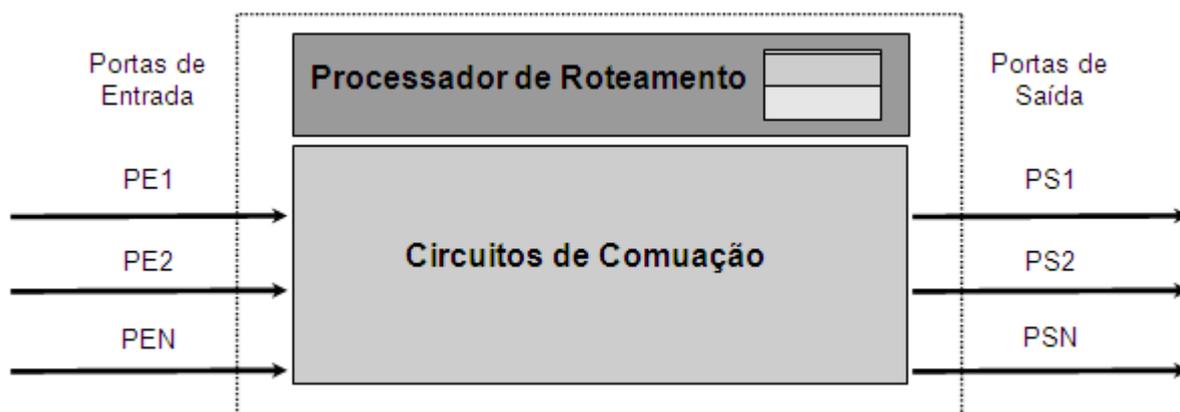


Figura 7: Componentes de um roteador

Cada um dos componentes expostos na figura anterior (portas de entrada, portas de saída, processador de roteamento e circuitos de comutação) serão detalhados nos próximos itens.

4.1. PORTAS DE ENTRADA

Uma interface de entrada realiza as funções da camada física e de enlace do roteador. Os bits são reconstruídos a partir do sinal recebido. O pacote é desencapsulado do frame. Os erros são detectados e corrigidos caso existam. O pacote é lido pelo roteador na camada de rede (modelo OSI). Além disso, para os processadores da camada física e de enlace, a porta de entrada possui filas para manter os pacotes antes de encaminhá-los aos circuitos de comutação (FOROUZAN, 2006, p. 772). Uma aproximação do conceito de filas pode ser observado na Figura 4.



Figura 8: Filas de entrada e saída
 Fonte: adaptado de Forouzan (2006, p. 772)

4.2. PORTAS DE SAÍDA

Uma porta de saída possui as mesmas funcionalidades de uma porta de entrada. Enquanto uma porta de entrada atua desde a recepção dos dados na forma de sinais elétricos até a entrega de um pacote ao circuito de comutação, uma porta de saída trabalha no sentido inverso, recebendo pacotes que devem ser entregues ao meio de transmissão. De uma forma geral uma mesma porta realiza funções de entrada e saída, dependendo do direcionamento do fluxo de dados enviados a esta.

4.3. PROCESSADOR DE ROTEAMENTO

As funcionalidades da camada de rede (modelo OSI) são realizadas pelo processador de roteamento.

O endereço do próximo salto e porta de saída é obtido através do endereço de destino do pacote. Para a realização desta tarefa, o processador de roteamento efetua uma busca por rotas na tabela de roteamento. Em alguns roteadores essa função está sendo deslocada para as portas de entrada para facilitar e agilizar o processo de expedição de pacotes (FOROUZAN, 2006, p. 772).

4.4. CIRCUITOS DE COMUTAÇÃO

A entrega dos pacotes das filas de entrada para as filas de saída, de forma eficiente, é uma atividade crítica de um roteador. A eficiência é conseguida tendo como parâmetro principal a velocidade na entrega destes pacotes. Esta afeta diretamente o tamanho das filas de entrada e saída, e conseqüentemente a performance do roteador, pois aumenta o atraso de entrega de pacotes.

O repasse de pacotes ocorre nos circuitos de comutação, os quais, em dispositivos específicos de roteamento, são implementados em componentes de hardware.

Existem diversas abordagens para circuitos de comutação, como o modelo matricial, o qual conecta n entradas a m saídas, formando um modelo de matriz. A cada ponto de cruzamento da matriz existem chaves eletrônicas. Uma limitação, se não a maior deste modelo, é o número de pontos matriciais requeridos. Para conectar n entradas a m saídas, este tipo de comutador necessitaria $n \times m$ chaves o que torna impraticável sua utilização quando existem altos valores para n e m . Este tipo de comutação também é ineficiente porque, como mostram algumas estatísticas, menos de 25% dos pontos de cruzamento são utilizados em dado tempo (FOROUZAN, 2006, p. 197). Uma alternativa para este modelo é um

comutador multiestágios, o qual combina comutadores matriciais distribuídos em estágios cascadeados.

5. ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO

Para garantir que determinados pacotes terão tratamento diferenciado, é necessária a utilização de algoritmos de escalonamento de pacotes dentro da rede, a fim de priorizar ou atrasar a entrega desses pacotes de acordo com cada necessidade.

Segundo Peixoto, em sistemas de tempo-virtual, a meta típica do escalonamento é maximizar a média do número de requisições completadas por unidade de tempo e/ou minimizar a média do tempo de espera das requisições.

5.1. FIRST IN FIRST OUT (FIFO)

É o mais simples mecanismo de escalonamento de pacotes, e estes são tratados de maneira igual, sendo colocados numa fila única e servidos por ordem de chegada. À medida que os pacotes chegam na interface de entrada eles são colocados na fila da interface de saída, na mesma ordem que foram recebidos (PINA et al., 2009, p. 6). Porém este mecanismo torna a entrega de pacotes justa (COUTO, 2007, p. 33), o que muitas vezes não é o requerido pelos usuários.

A figura 3 ilustra o mecanismo que o escalonador FIFO trabalha, apesar de uma vantagem neste método que é o seu comportamento previsível, dado que os pacotes não são reordenados e o atraso máximo é correspondente ao tamanho da fila de espera (PINA, 2009, p. 7), este escalonador tem muitas limitações que o tornam pouco eficaz, pois não consideram características de geração dos pacotes ou aplicações com requisitos de QoS mais restritos (CAMARGO, 2010, p. 27).

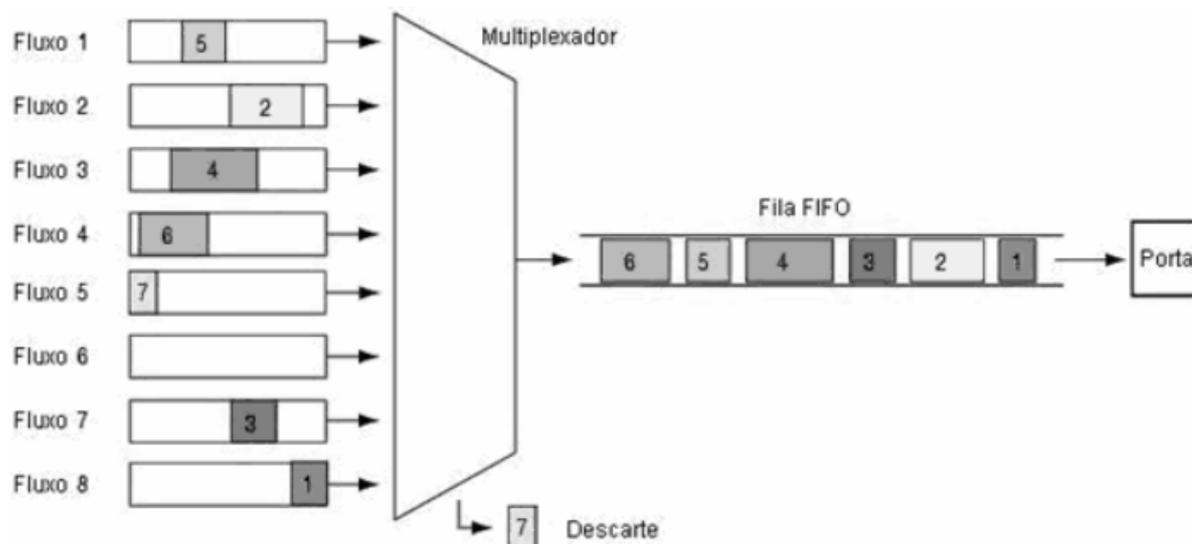


Figura 9: Escalonador FIFO
Fonte: adaptado de Nabas (2009, p. 36)

Quando o FIFO é usado, fontes de dados podem consumir toda a banda, rajadas provenientes de uma fonte podem causar atrasos no tráfego sensível ao tempo, e tráfegos importantes podem ser descartados porque o tráfego de menos importância completou a fila (ARDEOLA, 2001, p. 71).

5.2. PRIORITY QUEUEING (PQ)

O enfileiramento por prioridade garante que pacotes, com prioridade mais alta, serão encaminhados mais rapidamente que os de baixa prioridade (COUTO, 2007, p.34). Contudo esse tipo de algoritmo deve ser muito bem administrado, pois quando houver um grande fluxo de pacotes de alta prioridade, os pacotes de baixa prioridade podem sofrer um atraso muito grande ou até mesmo o descarte (NABAS, 2009, p.38). Esta é uma condição denominada *starvation* (morte por inanição) (FOROUZAN, 2006, p. 570). A Figura 4 ilustra o mecanismo de enfileiramento por prioridade.

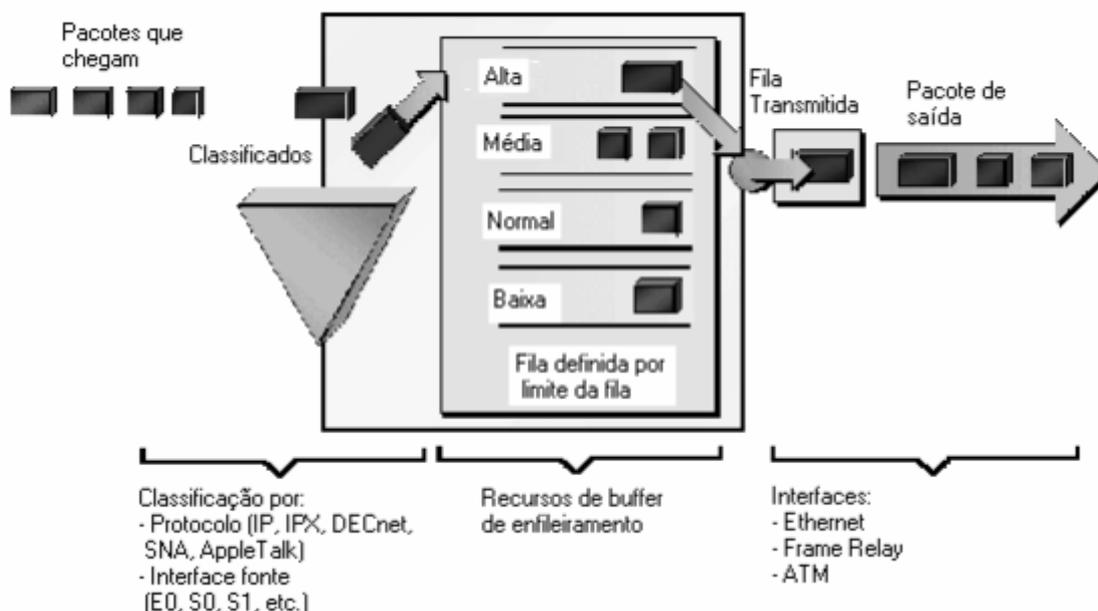


Figura 10: Escalonador PQ
 Fonte: adaptado de Ardeola (2001, p. 79)

Na escolha do PQ, considera-se que na maioria das vezes o tráfego de baixa prioridade não recebe banda para transmitir devido ao fato do tráfego de maior prioridade ter preferência (ARDEOLA, 2001, p. 81), esse mecanismo também leva um tempo maior para comutar os pacotes, pois estes devem ser classificados antes da transmissão.

5.3. CUSTOM QUEUEING (CQ) OU CLASS-BASED QUEUEING (CBQ)

O CQ permite que seja especificado um número de bytes a serem repassados de uma fila, cada vez que a fila é servida (ARDEOLA, 2001, p.75), com isso, determinando quantos bytes serão processados por fila em cada ciclo e as aplicações que têm o seu tráfego destinado a cada fila, comportam-se como se aquela fila fosse sua banda total (COUTO, 2007, p. 35).

A figura 5 esboça o mecanismo do CQ.

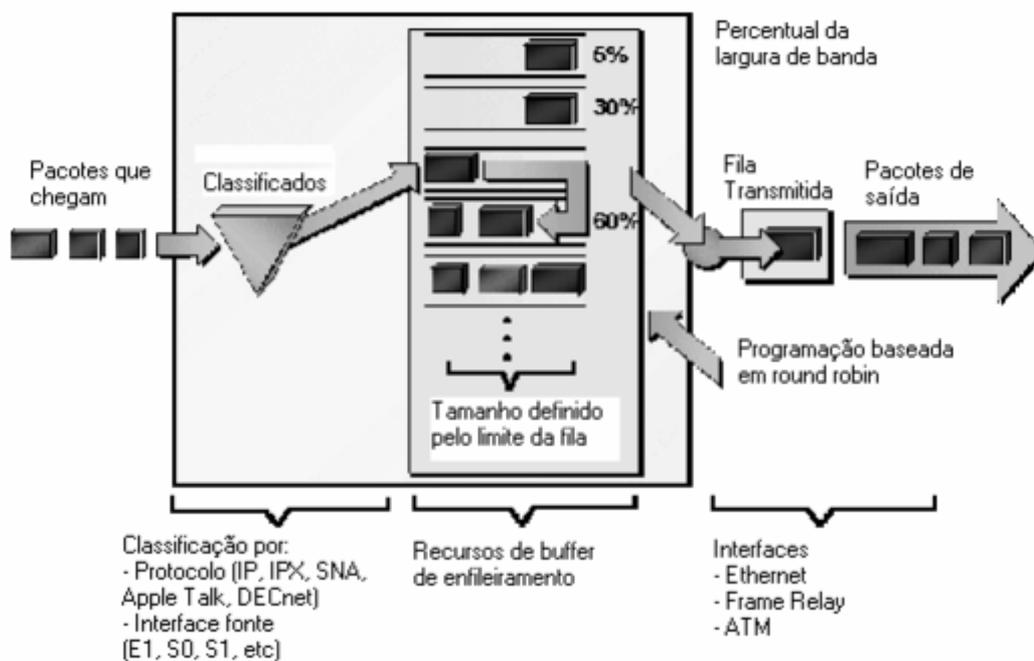


Figura 11: Mecanismo CQ
 Fonte: adaptado de Ardeola (2001, p. 76)

5.4. FAIR QUEUEING (FQ)

No algoritmo de enfileiramento justo, as mensagens são ordenadas em sessões, e para cada sessão, é alocado um canal. A ordem na fila é realizada através do último bit que atravessa o canal, essa operação provê uma alocação mais justa da banda entre os fluxos de dados (SILVA, 2000, p. 4), demonstrado na Figura 6.

O FQ classifica os pacotes em fluxos específicos e os separa em filas dedicadas, a banda é dividida igualmente pra n filas (SEMERIA, 2001). Isolando cada fluxo em uma fila dedicada, previne-se que um fluxo mal comportado prejudique o desempenho dos outros fluxos, porém não dá suporte para fluxos com necessidades de largura de banda diferentes (FERREIRA et al., 2010, p. 3).

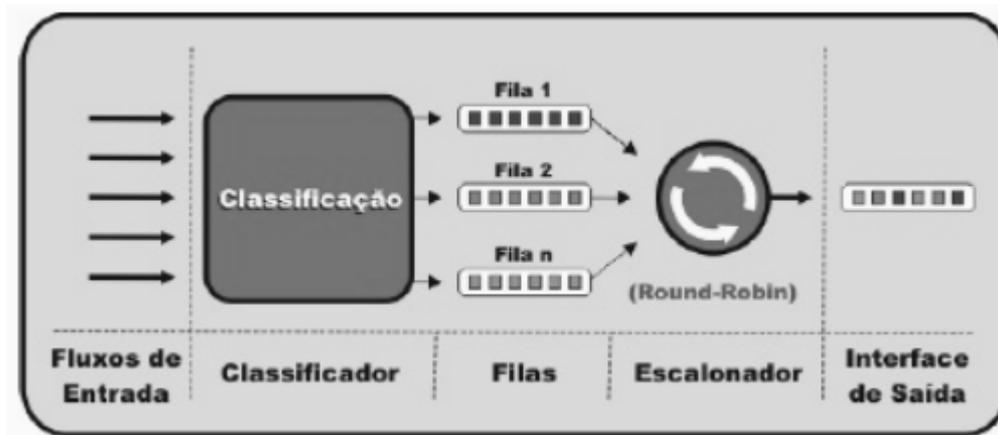


Figura 12: Escalonador FQ
 Fonte: adaptado de Santana (2006, p. 72)

5.5. WEIGHTED FAIR QUEUEING (WFQ)

O WFQ ou enfileiramento justo ponderado é um método de programação automática que provê tratamento de alocação de banda para todo o tráfego de rede. Ele aplica prioridade, ou pesos, para identificar tráfego, para classificar tráfego dentro de conversações, e determinar quanta banda cada conversação é relativamente permitida para as outras conversações (ARDEOLA, 2001, p. 71).

Nesta técnica, os pacotes ainda são atribuídos a diferentes classes e admitidos em filas diferentes, porém, as filas recebem pesos baseados na prioridade de cada uma delas; uma prioridade alta significa um peso maior (FOROUZAN, 2006, p. 571).

Segundo Ardeola (2001) ainda, o WFQ oferece na transferência de arquivos concorrentes a flexibilidade de balanceamento da capacidade do link, ou seja, quando múltiplas transferências de arquivos ocorrem, para cada transferência é dada a mesma banda, este mecanismo é ilustrado na Figura 7.

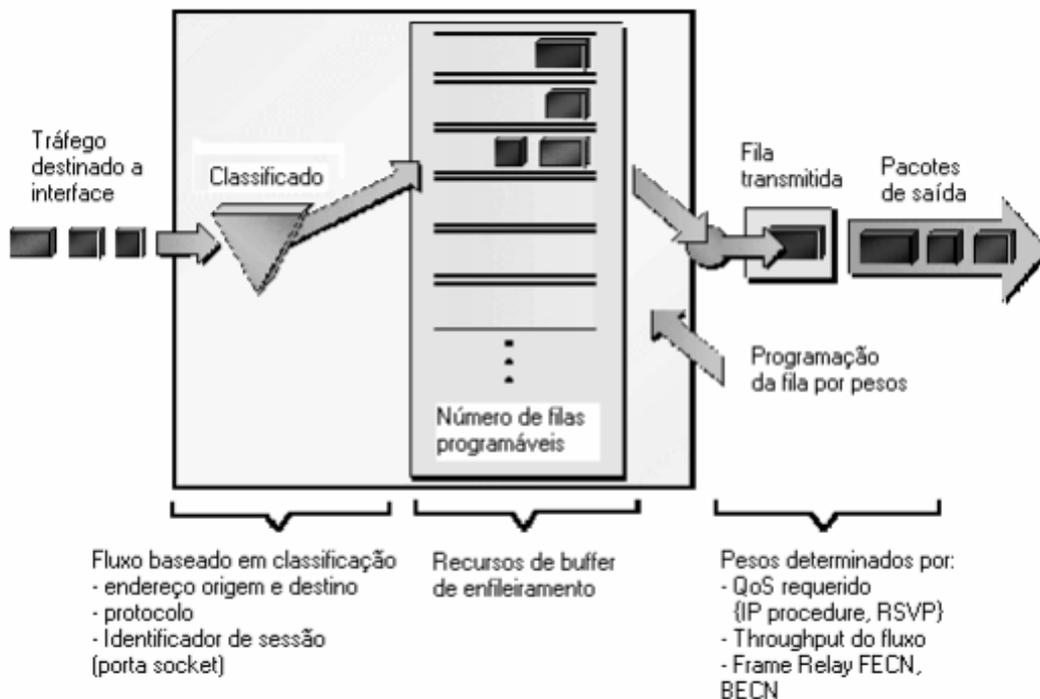


Figura 13: Mecanismo WFQ
 Fonte: adaptado de Ardeola (2001, p. 72)

5.6. WEIGHTED ROUND ROBIN (WRR)

Essa disciplina serve rotativamente todas as filas não vazias, a vazão de cada fila depende do valor do peso que lhe é atribuído. O peso pode ser definido em função do comprimento das filas, do atraso dos pacotes, ou ainda pode ser associado ao parâmetro de QoS de classe de serviço (FERREIRA et al., 2010, p. 3).

As filas são servidas em ordem decrescente de prioridade (peso). Entretanto, contrário à operação da disciplina PQ, onde uma fila é atendida somente após o atendimento pleno de todas as filas de maior prioridade, na técnica WRR o serviço passa para a próxima fila se a fila corrente ficar vazia ou se o percentual de banda atribuído a ela for ultrapassado (MATA, 2002, p. 23).

5.7. GENERALIZED PROCESSOR SHARING (GPS)

O algoritmo WFQ pode ser considerado uma implementação prática do conceito de GPS, que divide a largura de banda disponível entre as filas de acordo com o peso atribuído a cada uma delas. Porém, o conceito de GPS não pode ser empregado na prática, pois assume que os pacotes são infinitamente divisíveis e que todas as filas não vazias podem ser servidas ao mesmo tempo (CAMARGO, 2010, p.28).

O GPS é somente útil como referência, porque possui características ótimas de isolamento entre classes de serviço, justiça e garantias de latência máxima (NABAS, 2009, p. 38).

Enfim, o objetivo de um algoritmo de enfileiramento é que, de forma inteligente, se possa descartar pacotes (ou requisições) antes de ocorrer congestionamentos, ou sobrecargas no elemento gerenciado (FIGUEIREDO, 2011, p. 47).

5.8. COMPARATIVO ENTRE ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO

O presente item vem a apresentar considerações relativas aos escalonadores PQ, CBQ e WFQ, objetivando apresentar seus pontos positivos e negativos no que diz respeito a obtenção de níveis de QoS.

5.8.1. PQ

A fila de prioridade fornece um mecanismo que garante prioridade de pacotes através de níveis. Desta forma, certos tipos de tráfego podem ser identificados e entregues antes de outro tráfego de menor prioridade.

Um tráfego de menor prioridade pode esperar na fila por altos períodos de tempo, devido a preferência de filas com maior prioridade. Assim, é difícil verificar o impacto que a latência pode causar a uma aplicação sensível a mesma.

Por ser um mecanismo simples de escalonamento, possui baixa escalabilidade devido ao tempo despendido na classificação dos pacotes, tornando-se desta forma adequado a links com menor largura de banda.

5.8.2. CBQ

O escalonador CQB classifica o tráfego em classes conforme critérios pré determinados. As classes recebem um percentual da banda disponível sendo organizadas de maneira hierárquica. Este modelo é mais justo do que o PQ, ocorrendo um aumento de recursos para filas de maior prioridade e uma diminuição proporcional às filas de menor prioridade.

Uma limitação deste modelo, assim como o PQ é a sobrecarga computacional para reordenação de pacotes e gerenciamento de filas. Assim, apesar do CBQ fornecer mecanismos para diferenciação de classes de serviços, o mesmo é apropriado para links de menor velocidade, o que limita o seu uso.

5.8.3. WFQ

O escalonador WFQ escala tráfego prioritário para a frente da fila a fim de reduzir o tempo de resposta. Simultaneamente, compartilha o restante da banda com demais fluxos de forma imparcial.

Assim como descrito para o escalonador PQ e CBQ, o escalonador WFQ possui problemas quanto a escalabilidade sendo utilizado do mesmo modo para links de baixa velocidade.

Outra limitação é a ausência de maneiras para avaliar ou ajustar formas de se favorecer alguns fluxos sobre outros, pois isto é definido estaticamente para uma implementação específica.

6. CONCLUSÃO

A fim de alcançar níveis de QoS em redes IP deve-se utilizar diversos mecanismos como protocolos de sinalização, algoritmos de prioridade, controle de filas, congestionamento e escalonamento. Este trabalho abordou mecanismos e técnicas para garantir qualidade de serviço.

O capítulo 2 apresentou o conceito de qualidade de serviço e fatores que limitam sua obtenção bem como mecanismos que favorecem o seu alcance.

No capítulo 3 foi exposto as arquiteturas *Best-Effort*, IntServ e DiffServ, as quais fornecem a capacidade a rede de garantir a entrega de um serviço requisitado.

Um roteador é o elemento fundamental para o encaminhamento de pacotes através de diferentes caminhos em uma rede. Através dele é possível implementar modelos que visem fornecer garantias de qualidade de serviço. Seus principais conceitos como portas de entrada e saída, processador e circuitos de comutação foram abordados no capítulo 4.

Por fim, o capítulo 5 apresentou algumas das principais disciplinas de escalonadores de pacotes. Estes garantem que determinados pacotes terão tratamento diferenciado, priorizando ou atrasando a entrega desses pacotes de acordo com cada necessidade. Foram também expostas algumas considerações a respeito das disciplinas PQ, CBQ E WFQ.

Desta forma, observou-se que estes algoritmos permitem priorizar tráfego de pacotes sendo que a fila de prioridade é a que fornece um serviço menos justo pois se os pacotes de um fluxo prioritário forem constantes, os demais fluxos poderão não ser atendidos. Todos os três modelos avaliados apresentam limitações referentes a escalabilidade sendo, deste modo adequados a links com menor velocidade.

REFERÊNCIAS

ABBASOV, B.; KORUKOGLU, S.; **Effective RED**: An algorithm to improve RED's performance by reducing packet loss rate. J. Netw. Comput. Appl, v. 3, p. 703-709, 2009.

ARCE, G. R.; BARNER, K. E.; LIANGPING, M; **RED gateway congestion control using median queue size estimates**. Signal Processing, IEEE Transactions on, vol. 51, p. 2149-2164, 2003.

ARDEOLA, Fabio R. **Qualidade de Serviço em redes IP**: Serviços Diferenciados. 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

BHATTI, Nina et al. **Integrating user-perceived quality into web server design**. Computer Networkss, v. 33, p. 1-16, 2000.

BLAKE, S.; BLACK, D.; CARLSON, M.; DAVIES, E.; WANG, Z.; WEISS, W. **An Architecture for Differentiated Services**. Internet RFC 2475, 1998.

BRADEN, R.; CLARK, D.; SHENKER, S. **Integrated Services in the Internet Architecture**. Internet RFC 1633, 1994.

BRADEN, R. et al. **Resource Reservation Protocol (RSVP) Version 1 Functional Specification**. IETF RFC – 2205, set. 1997.

CAMARGO, Eliane G. **Uma arquitetura de Escalonamento Hierárquica para Transmissões Uplink em Redes IEEE 802.16e baseadas em OFDMA**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COMER, Douglas E. **Interligação de Redes com TCP/IP**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

COMER, Douglas E. **Redes de Computadores e Internet**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

COUTO, Andre. **Controle de uso de banda garantindo QoS baseado em Diffserv usando FreeBSD**. 2007. 61 f. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

FERREIRA, Flavio A. et al. **Uma proposta de Algoritmo de Escalonamento baseado na disciplina *Priority Queueing* (PQ) para Redes IEEE 802.16**. I2TS 2010 – 9th International Information and Telecommunication Technologies Symposium, Rio de Janeiro, p. 3, dez. 2010.

FIGUEIREDO, Ricardo N.; **Avaliação de algoritmos de controle de congestionamento como controle de admissão em um modelo de servidores Web com diferenciação de serviço**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FIROIU, V.; BORDEN, M.; **A study of active queue management for congestion control**, INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, v. 3, p. 1435-1444, 2000.

FLUCKIGER, F. **Understanding networked multimedia: applications and technology**. Prentice Hall International (UK) Ltd. Hertfordshire, UK, 1995.

FORONDA, Augusto; NABAS, Kleber; JUNIOR, Walter G.; **Arquitetura para provisão de QoS em uma Rede MPLS**. I Workshop de Computação da Região Sul. Florianópolis, p. 4-5, maio. 2004.

FOROUZAN, Behrouz A. **Comunicação de dados e redes de computadores**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

JACOBSON, V; NICHOLS, K.; ZHANG, L. **A two-bit differentiated services architecture for the Internet**. Internet RFC 2638, 1999.

LEAL, M. A. A. **QoS – Qualidade de Serviço em TCP/IP**. 2004. 69 f. Monografia (Especialização em Administração de Redes Linux) – Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.

LEE, S. C.; LUI, J. C. S.; YAU, D. K. Y. **A proportional-delay diffserv-enabled web server: admission control and dynamic adaptation**. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. v. 15, n. 5, 2004.

MARTINS, Joberto. **Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos**. Relatório técnico – Universidade de Santa Cecília, São Paulo, Santos, 1999.

MATA, Rene S. **Dimensionamento de Enlaces em Redes com Integração de Serviços**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

MELO, C. J. **Estudo da Utilização de Mecanismos de QoS em Redes com Enlaces de Banda Estreita**. 2005. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Maranhão, 2005.

NABAS, Kleber K. H. **Proposta de um modelo para análise de desempenho do Escalonador WFQ alimentado com tráfego LRD**. 2009. 94 f. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

PEIXOTO, Maycon L. M.; **Políticas de escalonamento de tempo-real para garantia de QoS absoluta em array de servidores web heterogêneos**. 2008. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

PINA, Bernardo. CUNHA, Filipe. FERNANDES, Pedro. **Mecanismos de Escalonamento**. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/pedronero/quality-of-service-and-linux>> Acesso em: 19 nov. 2011, 15:20.

PRIETO, A. G.; BRUNNER M. **SLS to DiffServ configuration mappings**. Proc. DSOM 2001: 12º IFIP/IEEE International Workshop on Distributed Systems, 2001.

SANTANA, Hugo. **Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos**. Disponível em:

<http://professores.unisanta.br/santana/downloads/Telecom/Com_Digitais/Aulas%202o.%20Bimestre/Texto%20QoS_IP_Itelcon.pdf > Acesso em: 03 nov. 2011, 19:10.

SANTANA, S. F. L. **Proposta de Referência para Projetos de Qualidade de Serviço (Qos) em Redes Corporativas**. 2006. 181 f. Dissertação (Mestrado em Redes de Computadores) – Departamento de Ciências Exatas e de Comunicação, Universidade Salvador, Salvador, 2006.

SEMERIA, C. **Supporting Differentiated Service Classes: Queue Scheduling Disciplines**. Juniper Networks Inc., Part Number: 200020-001 12/01, 2001.

SILVA, Adailton J. S. **Qualidade de Serviço em VoIP – Parte I**. NewsGeneration. Rio de Janeiro: Maio, 2000 . ISSN 1518-5974.

SOARES, Luiz; LEMOS Guido; COLCHER, Sérgio. **Redes de computadores: Das LANs, MANs e WANs às redes ATM**. 2. ed. Rio de Janeiro : Elsevier, 1995.

SOCOLOFSKY, T.; KALE, C. **A TCP/IP Tutorial**. RFC 1180, Jan. 1991.

STRNADL, Cristoph F. **At your service: QoS for the internet**. IEEE Multimedia, v. 09 de Media Reviews, p. 93-95, 2002.

STADURST. **The need for QoS**. 1999. Disponível em:

<http://www.inforede.net/Technical/Upper_Layers/Network_Mgmt/The%20Need%20for%20QoS.pdf> Acesso em: 05 nov. 2011, 10:05.

TANENBAUM, Andrew S. **Redes de computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.