

# APÊNDICE A

## O simulador NS-2

### A.1 - Características principais

Como mostrado em alguns casos no capítulo 3, a simulação é uma ferramenta importante para avaliar e validar ferramentas de gerenciamento para redes de computadores. Nos casos do capítulo anterior, em inúmeros outros trabalhos de pesquisa e publicações diversas notamos a ampla utilização do *Network Simulator* [NS-2].

O *Network Simulator* – NS – é um simulador baseado em eventos discretos voltado para pesquisas em redes de computadores. O NS provê suporte para

simulações de protocolos TCP, UDP, diversos protocolos de roteamento e IP *multicast*, tudo isso em redes com e sem fio [NS-2].

O NS é um simulador orientado a objetos, escrito na linguagem C++. A interface final é o interpretador OTcl [OTcl] [NS-MANUAL]. Trata-se de um sistema com código fonte aberto, o que permite alterações das classes existentes e criação de novas classes, segundo as necessidades da rede a ser simulada.

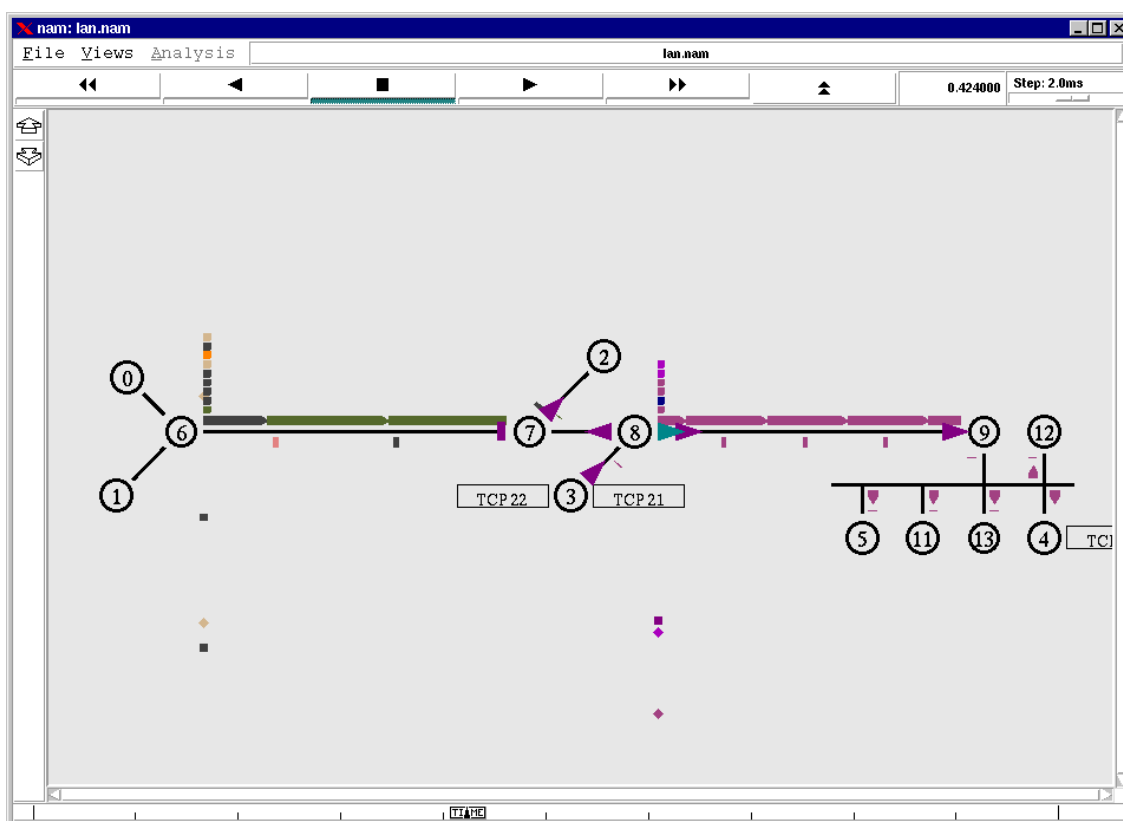
Por ser um sistema aberto, várias contribuições para acoplar novos agentes e protocolos à versão padrão estão constantemente sendo implementadas [NSCONTR].

O processamento que requer alto desempenho e manipula grande quantidade de dados está escrito em C++ e é compilado. Os programas (*scripts*) que criam os cenários de simulação, ajustam seus parâmetros e que requerem alterações freqüentes são escritos em OTcl e são interpretados.

Topologias de redes arbitrárias, compostas por roteadores, enlaces e meio compartilhado podem ser definidas. Um rico conjunto de protocolos como algumas implementações do TCP e UDP estão disponíveis e vários tipos de aplicações podem ser simuladas. Entre elas estão FTP, Telnet e HTTP, que utilizam o TCP como protocolo de transporte, e aplicações que requerem taxa de bits constante (*Constant Bit Rate* – CBR) que utilizam UDP. Múltiplas políticas de filas e escalonamento podem ser configuradas. Estão entre elas: *drop-tail*, *random early detection* – RED, *priority* e *fair queueing*. Perda de pacotes e falhas em enlaces podem ser simulados. O modelo de roteamento pode ser estático ou dinâmico. Os protocolos de estado dos enlaces (o SFP de Dijkstra) e de vetor de distâncias (Bellman-Ford) são suportados. Simulações de redes locais e via satélite são suportadas. Toda uma gama de recursos para simulações de redes sem fio estão disponíveis, incluindo protocolos de roteamento, movimento de nós da rede e consumo de energia. Redes com serviços integrados (intserv), serviços diferenciados (diffserv) e MPLS podem ser modeladas e simuladas.

Importantes ferramentas de análise de resultados são o Network Animator – NAM, o gerador de gráficos xgraph e os próprios arquivos de saída que podem ser gerados a partir de funções do *script* de simulação.

O NAM é uma ferramenta de animação para visualização da simulação e monitoramento de pacotes, filas e enlaces. Suporta configurações da topologia da rede, animação no nível dos pacotes que trafegam pela rede e várias opções de inspeção de dados [NAM] [NS-MANUAL]. Sua qualidade gráfica, opções de cores, rótulos de nós da rede e legendas permitem a clara demonstração da topologia e sua evolução no tempo, com grande potencial didático e de pesquisa. O NAM atua sobre um arquivo texto gerado pelo *script* de simulação que contém todas as configurações necessárias para a animação.



**Figura A.1:** Tela exemplo do NAM

O xgraph [XGRAPH] é um gerador de gráficos X-Y de uso geral com opções interativas de “zoom”, impressão e opções de visualização. Permite a visualização de uma ou mais curvas de tráfego no mesmo gráfico. São criados gráficos a partir de dados contidos em um ou mais arquivos, neste escopo

gerados pelo *script* TCL da simulação. O xgraph produz arquivos PostScript, PDF e MIF (*Maker Interchange Format*) para serem impressos, armazenados, compartilhados ou inseridos em outros arquivos. Permite configuração de cores e espessura das linhas.

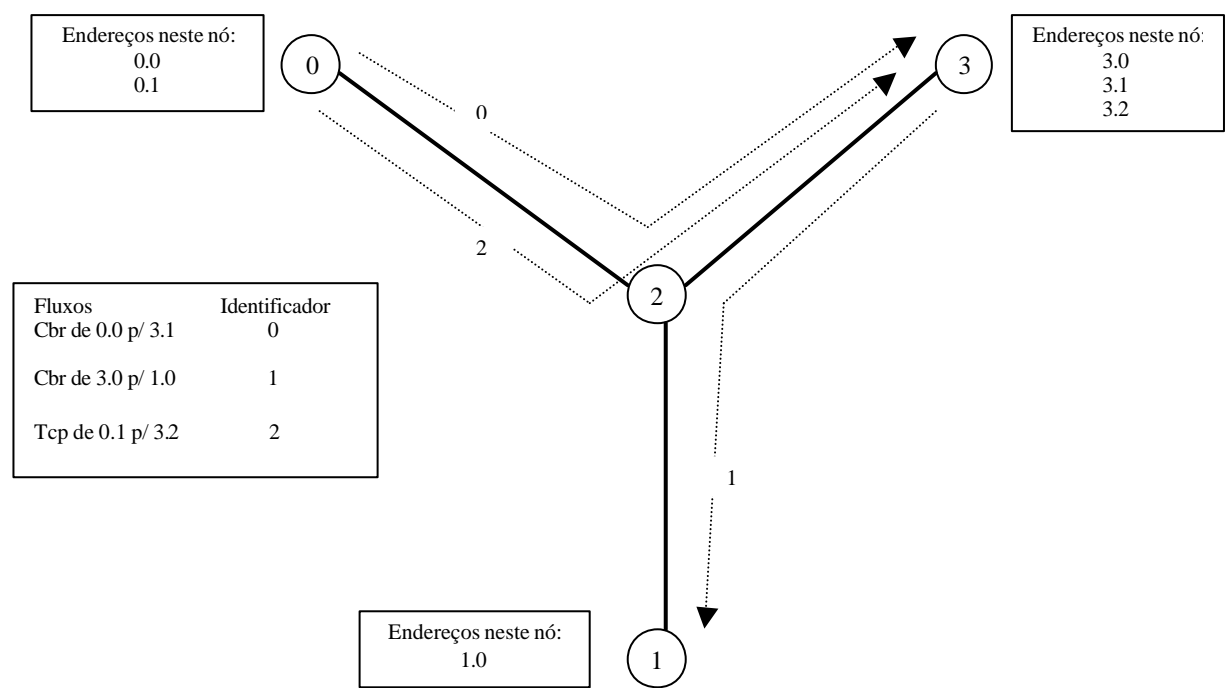
Vários outros arquivos podem ser gerados por funções escritas no programa da simulação ou com a utilização de monitores colocados em pontos de interesse da topologia em estudo. Estes recursos permitem totalizar pacotes ou bytes que chegam a um nó da rede por unidade de tempo, calcular a vazão em um certo enlace, totalizar descarte ou criar dados para geração de gráficos.

Existe um padrão de arquivo de traço que detalha cada pacote enviado, recebido ou descartado no decorrer da simulação. Pode-se criar um arquivo de traço de toda a simulação ou apenas de um enlace de interesse. A estrutura deste arquivo é mostrada a seguir por meio de um fragmento de um arquivo de traço (na verdade trata-se de um arquivo texto com um espaço entre cada campo, a formatação na tabela foi feita para facilitar o detalhamento do mesmo):

**Tabela A.1:** Detalhamento do arquivo de traço

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
+	1.84375	0	2	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
-	1.84375	0	2	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
r	1.84471	2	1	cbr	210	-----	1	3.0	1.0	195	600
r	1.84566	2	0	ack	40	-----	2	3.2	0.1	82	602
+	1.84566	0	2	tcp	1000	-----	2	0.1	3.2	102	611
-	1.84566	0	2	tcp	1000	-----	2	0.1	3.2	102	611
r	1.84609	0	2	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
+	1.84566	2	3	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
d	1.84609	2	3	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	225	610
-	1.8461	2	3	cbr	210	-----	0	0.0	3.1	192	511
r	1.84612	3	2	cbr	210	-----	1	3.0	1.0	196	603
+	1.84612	2	1	cbr	210	-----	1	3.0	1.0	196	603
-	1.84612	2	1	cbr	210	-----	1	3.0	1.0	196	603

+	1.84625	3	2	cbr	210	-----	1	3.0	1.0	196	612
---	---------	---	---	-----	-----	-------	---	-----	-----	-----	-----

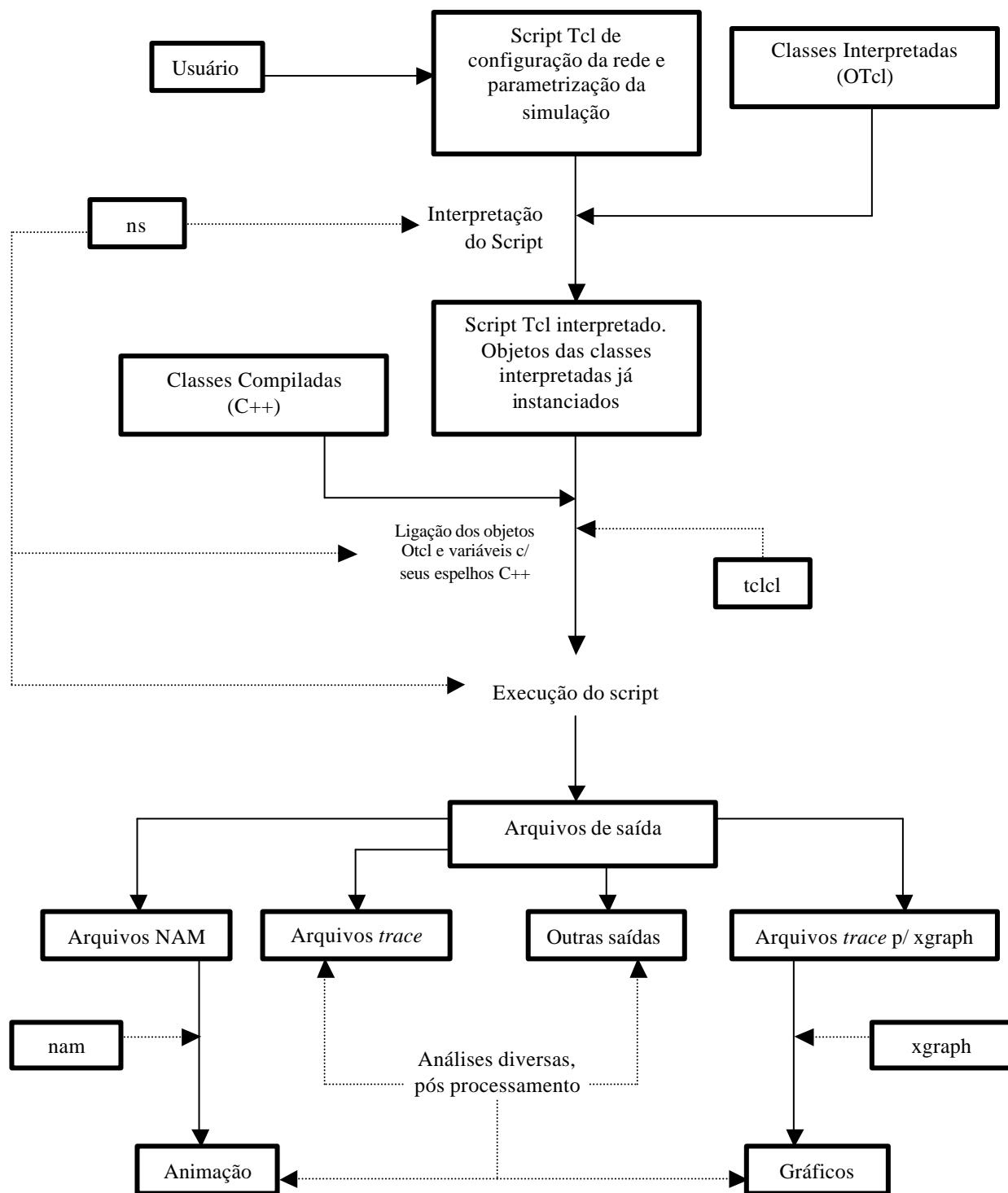


**Figura A.2:** Uma topologia possível para o fragmento de arquivo de traço da tabela A.1

**Tabela A.2:** Significado dos campos da tabela A.1

Campo	Significado	Observações
A	Tipo do pacote	“+” enfileiramento ( <i>enque</i> ); “-” envio ( <i>deque</i> ); “r” pacote recebido; “d” pacote descartado
B	Instante do evento	Segundos
C D	Nós entre os quais o traço é feito	Cada nó criado na simulação recebe um identificador na forma de um número seqüencial
E	Tipo de pacote	Exemplos: tcp, udp, cbr, audio, video, ack, start, stop, prune, join, rtcp, rtp, rproto_dv, telnet, ftp, http.

F	Tamanho do pacote	Bytes
G	<i>Flags</i>	4 primeiros usados para <i>Explicit Congestion Notification</i> ECN: “E” <i>Congestion Experienced</i> ; “N” <i>ECN-Capable-Transport</i> (cabeçalho IP); “C” <i>ECN-Echo</i> ; “A” <i>Congestion Window Reduced</i> (cabeçalho TCP). 2 últimos: “P” para prioritário e “F” para TCP partida rápida ( <i>Fast Start</i> )
H	Identificador do fluxo	Quando criado, o fluxo pode receber um identificador numérico
I	Nó origem do pacote	Endereço
J	Nó destino do pacote	Endereço
K	Número de seqüência	Pouco usado no NS-2; mantido para compatibilidade com NS-1
L	Identificador único do pacote	



**Figura A.3:** Funcionamento do NS

## A.2 - A implementação do Diffserv no NS-2

O suporte a Diffserv foi adicionado ao NS-2 na versão ns-2.1b8 de novembro de 2000. O módulo foi desenvolvido pela Nortel Networks. A seguir serão descritos os recursos e funcionamento do módulo [NSMANUAL].

### A.2.1 - Filas

No modelo existem quatro filas físicas RED, cada uma com três filas virtuais. Cada par da combinação fila física + fila virtual é associado a um valor do DSCP o qual especifica um nível de serviço.

### A.2.2 - Roteadores

Existem os roteadores de borda (*edge*) e internos (*core*). Os pacotes são marcados no roteador de borda segundo a política definida e encaminhados para a fila correspondente. Os roteadores internos apenas encaminham os pacotes segundo a política definida.

### A.2.3 - Políticas

Aqui são definidas as políticas utilizadas pelos roteadores de borda para executar a marcação dos pacotes.

Atualmente cinco políticas diferentes estão definidas e serão tratadas a seguir.



### A.2.3.1 - TSW2CM

**Nome:** Janela de tempo deslizante com marcação para duas cores (*Time Sliding Window with 2 color marking*).

**Recursos:** Utiliza uma taxa acordada (*Committed Information Rate* – CIR) e duas precedências de descarte. CIR em bits/s.

**Sintaxe:**

<Nome da fila> addPolicyEntry [nó origem] [nó destino] TSW2CM <XX>  
CIR

<Nome da fila> addPolicerEntry TSW2CM <XX> <YY>

**Funcionamento:**

Enquanto a taxa do agregado de tráfego que flui do nó origem para o nó destino estiver entre zero e CIR e os pacotes serão marcados com DSCP XX. Quando o valor de CIR for superado, os pacotes passarão a ser marcados com outro DSCP YY, que terá maior probabilidade de descarte.

### A.2.3.2 - TSW3CM

**Nome:** Janela de tempo deslizante com marcação para três cores (*Time Sliding Window with 3 color marking*).

**Recursos:** Utiliza uma taxa acordada (*Committed Information Rate* – CIR), uma taxa de pico (*Peak Information Rate* – PIR) e três precedências de descarte. CIR e PIR em bits/s.

**Sintaxe:**

<Nome da fila> addPolicyEntry [nó origem] [nó destino] TSW3CM <XX>  
CIR PIR

<Nome da fila> addPolicerEntry TSW3CM <XX> <YY> <ZZ>

**Funcionamento:**

Enquanto a taxa do agregado de tráfego que flui do nó origem para o nó destino estiver entre zero e CIR, os pacotes serão marcados com DSCP XX. Quando taxa do agregado estiver entre CIR e PIR, os pacotes passarão a ser marcados com DSCP YY. Quando o valor de PIR for superado, os pacotes passarão a ser marcados com DSCP ZZ. A maior probabilidade de descarte é para pacotes com DSCP ZZ, em seguida DSCP YY e a menor probabilidade dos pacotes com DSCP XX.

#### A.2.3.3 - Balde de fichas (Token Bucket)

**Nome:** Balde de fichas (*Token Bucket*)

**Recursos:** Utiliza uma taxa acordada (*Committed Information Rate* – CIR), um tamanho de rajada (*Committed burst size* – CBS) e duas precedências de descarte. CIR em bits/s e CBS em bytes.

**Sintaxe:**

<Nome da fila> addPolicyEntry [nó origem] [nó destino] TokenBucket <XX>  
CIR CBS

<Nome da fila> addPolicerEntry TokenBucket <XX> <YY>

**Funcionamento:**

Um pacote é marcado com a precedência inferior (YY) se e somente se for maior que o tamanho do balde de fichas no instante de sua chegada. Como o balde de fichas é servido pela taxa CIR, o DSCP XX será servido segundo a taxa CIR e o excedente será marcado com DSCP YY. Além disso, rajadas maiores que o valor de CBS ocasionarão remarcação para o DSCP inferior (YY). Pacotes com DSCP YY serão descartados primeiro. Na verdade, se CIR for menor que a

capacidade do enlace, somente pacotes marcados com DSCP YY serão descartados. Não é apropriada a configuração de CIR com um valor maior que a capacidade do enlace.

Podem ser introduzidos novos recursos na política que utiliza balde de fichas. São elas: Prioridade (PRI), Cíclica (*Round Robin* - RR), Cíclica com pesos (*Weighted Round Robin* - WRR) e Cíclica intercalada com pesos (*Weighted Interleaved Round Robin* - WIRR).

**PRI:** Uma fila prioritária, relacionada a um par de DSCPs (XX, YY) recebe uma proporção da taxa de saída e terá garantida esta taxa de encaminhamento. Veja o exemplo a seguir:

**Tabela A.3:** Estatística de um roteador operando com Balde de fichas e prioridade.

DSCP	Total de pacotes recebidos	Pacotes transmitidos	Pacotes descartados	Taxa média de encaminhamento para o DSCP (Mbits/s)
Todos	79989	50031	29958	5
10	10008	9983	25	0,9983
11	29986	20202	9784	2,0202
20	10008	9924	84	0,9924
21	29987	9922	18966	0,9922

Parâmetros da simulação:

- Pacotes de 1000 bytes
- Colunas 2, 3 e 4 são valores acumulados após 80 segundos de simulação
- CIR do DSCP 10 = 1 Mbit/s; DSCP 10 é remarcado para 11
- CIR do DSCP 20 = 1 Mbit/s; DSCP 20 é remarcado para 21
- DSCP 10 e 11 mantidos na fila 0

- DSCP 20 e 21 mantidos na fila 1
- Enlace de saída do roteador = 5 Mbits/s
- Fila 0 (prioritária) configurada para receber 3 Mbits/s

Observe que os pacotes com DSCP 10 e 20 receberam o serviço conforme a taxa CIR especificada de 1 Mbit/s. Nos pacotes degradados para os DSCPs 11 e 21 é que se fez a diferenciação por prioridade. Os pacotes marcados com DSCP 11 foram encaminhados até a taxa de 2 Mbit/s, completando 3 Mbit/s para a fila 0 (DSCP 10 e 11). A fila 1 ficou com o restante da banda.

**RR:** As filas são atendidas de forma cíclica de modo que recebam parcelas iguais da banda de saída.

**Tabela A.4:** Estatística de um roteador operando com Balde de fichas e escalonamento cíclico (*Round Robin*)

DSCP	Total de pacotes recebidos	Pacotes transmitidos	Pacotes descartados	Taxa média de encaminhamento para o DSCP (Mbits/s)
Todos	79989	50028	29961	5
10	10008	9976	32	0,9976
11	29986	15036	14950	1,5036
20	10008	9993	15	0,9993
21	29987	15023	14964	1,5023

Parâmetros da simulação:

- Pacotes de 1000 bytes
- Colunas 2, 3 e 4 são valores acumulados após 80 segundos de simulação
- CIR do DSCP 10 = 1 Mbit/s; DSCP 10 é remarcado para 11
- CIR do DSCP 20 = 1 Mbit/s; DSCP 20 é remarcado para 21
- DSCP 10 e 11 mantidos na fila 0

- DSCP 20 e 21 mantidos na fila 1
- Enlace de saída do roteador = 5 Mbits/s

Observe que as filas 0 e 1 são atendidas com o mesmo serviço.

**WRR:** As filas são atendidas de forma cíclica de modo que recebam parcelas iguais da banda de saída.

**Tabela A.5:** Estatística de um roteador operando com Balde de fichas e escalonamento cíclico (*Round Robin*)

DSCP	Total de pacotes recebidos	Pacotes transmitidos	Pacotes descartados	Taxa média de encaminhamento para o DSCP (Mbits/s)
Todos	79989	50037	29952	5
10	10008	9881	127	0,9881
11	29986	5142	24844	0,5142
20	10008	10008	0	1
21	29987	25006	4981	2,5

Parâmetros da simulação:

- Pacotes de 1000 bytes
- Colunas 2, 3 e 4 são valores acumulados após 80 segundos de simulação
- CIR do DSCP 10 = 1 Mbit/s; DSCP 10 é remarcado para 11
- CIR do DSCP 20 = 1 Mbit/s; DSCP 20 é remarcado para 21
- DSCP 10 e 11 mantidos na fila 0
- DSCP 20 e 21 mantidos na fila 1
- Enlace de saída do roteador = 5 Mbits/s
- Peso da fila 0 = 3
- Peso da fila 1 = 7

Observe que as o parâmetro peso da fila fez com que a fila 1 fosse servida na proporção de 7 para 3 com relação a fila 0.

$$( 25006 + 10008 ) / ( 9881 + 5142 ) = 2,330693$$

$$7 / 3 = 2,333333$$

#### A.2.3.4 - srTCM

**Nome:** Taxa única com marcação para três cores (*Single Rate Three Color Marker*).

**Recursos:** Utiliza uma taxa acordada (*Committed Information Rate – CIR*) e dois tamanhos de rajada (*Committed burst size – CBS* e *Excess burst size – EBS*). CIR em bits/s, CBS e EBS em bytes.

**Sintaxe:**

<Nome da fila> addPolicyEntry [nó origem] [nó destino] srTCM <XX> CIR  
CBS EBS

<Nome da fila> addPolicerEntry srTCM <XX> <YY> <ZZ>

**Funcionamento:**

Funciona como um balde de fichas com parâmetros CIR e CBS para o DSCP inicial (XX). Assim, pacotes que cheguem a uma taxa até CIR e com rajadas menores que CBS são marcados com o DSCP inicial (XX). Para rajadas entre CBS e EBS os pacotes são marcados com DSCP intermediário (YY) e acima de EBS são marcados com DSCP ZZ. Pacotes ZZ são descartados primeiro, em seguida YY e por último XX.

#### A.2.3.5 - trTCM

**Nome:** Duas taxas com marcação para três cores (*two Rate Three Color Marker*).

**Recursos:** Utiliza uma taxa acordada (*Committed Information Rate – CIR*), uma taxa de pico (*Peak Information Rate – PIR*) e dois tamanhos de rajada (*Committed burst size – CBS* e *Peak burst size – PBS*). CIR e PIR em bits/s, CBS e PBS em bytes.

**Sintaxe:**

<Nome da fila> addPolicyEntry [nó origem] [nó destino] trTCM <XX> CIR  
CBS PIR PBS

<Nome da fila> addPolicerEntry trTCM <XX> <YY> <ZZ>

**Funcionamento:**

Funciona como dois baldes de fichas com parâmetros CIR e CBS para o DSCP inicial (XX) e parâmetros PIR e PBS. Assim, pacotes que cheguem a uma taxa até CIR e com rajadas menores que CBS são marcados com o DSCP inicial (XX). Para taxa de chegada entre CIR e PIR e rajadas entre CBS e PBS os pacotes são marcados com DSCP intermediário (YY). Caso a taxa PIR e/ou o tamanho de rajada PBS sejam superados os pacotes são marcados com DSCP ZZ. Pacotes ZZ são descartados primeiro, em seguida YY e por último XX.

### A.3 - Considerações finais

Os recursos do simulador NS são muito grandes. O potencial de execução de simulações diversas, incluindo simulações com serviços diferenciados é muito vasto. A larga utilização do simulador faz com que a depuração de erros e a confiabilidade dos resultados das simulações aumentem constantemente.

Os recursos específicos do Diffserv possibilitam inúmeras combinações de configurações de tráfego e parâmetros dos roteadores de borda e de núcleo. Várias opções de distribuição das classes de serviços em filas distintas,

configuradas com parâmetros distintos e utilizando critérios de escalonamento de filas diferentes permitem avaliar cenários múltiplos.

A análise do impacto da introdução de técnicas de QoS em redes já existentes pode ser precedido por simulações. Um caso é apresentado no capítulo 4.

### **Referências:**

- [NS-2]        The Network Simulator – <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [OTcl]        Berkeley Continuous Media Toolkit Version 4.0 - OTcl - Object Tcl  
Extensions <http://bmrc.berkeley.edu/research/cmt/cmtdoc/otcl/>
- [NS-MANUAL] The *ns* Manual – The VINT Project – UC Berkeley, LBL, USC/ISI,  
Xerox PARC  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation.html>
- [NSCONTR] The Network Simulator: Contributed Code  
<http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-contributed.html>
- [NAM]        The Network Animator - <http://www.isi.edu/nsnam/nam/index.html>
- [XGRAPH]    <http://www.isi.edu/nsnam/xgraph/index.html>  
<http://www.atl.external.lmco.com/proj/csim/xgraph/xgraph.html>