

# Qualidade de Serviço

# Laboratório de Simulação de Redes: Qualidade de Serviço em Redes IP – Disciplinas de Filas

## 1 Objetivo

O objetivo deste laboratório é examinar diferentes mecanismos para provimento de Qualidade de Serviço (QoS – Quality of Service) em redes IP, entre os quais diferentes disciplinas de fila para encaminhamento de pacotes em roteadores IP com serviços diferenciados e protocolo RSVP utilizado em Intserv (Integrated Services). Nesta primeira apostila serão analisadas as disciplinas de filas.

## 2 Conceitos teóricos

Por muitos anos, as redes de comutação de pacotes têm prometido suportar aplicações multimídia, isto é, aquelas aplicações que combinam áudio, vídeo e dados. Aplicações de áudio e vídeo tem características de tempo real no sentido de possuir exigências tais como limite máximo para o atraso de entrega de pacotes e variação do atraso ("jitter") reduzido, além de largura de banda (ver tabela 1).

Aplicação	Confiabilidade	Atraso	Variação de Atraso	Largura de Banda
Correio Eletrônico	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
Transferência de Arquivos	Alta	Baixa	Baixa	Média
Acesso a Web	Alta	Média	Baixa	Média
Áudio por Demanda	Baixa	Baixa	Alta	Média
Vídeo por Demanda	Baixa	Baixa	Alta	Alta
Telefonia	Baixa	Alta	Alta	Baixa
Videoconferência	Baixa	Alta	Alta	Alta

**Tabela 1 - Aplicações X Requisitos de QoS.**

A rede IP utiliza o modelo "Best Effort" não assumindo compromissos quanto a entrega dos dados, sendo função dos serviços fim a fim atuarem de forma a garantirem a entrega dos pacotes, o que não é suficiente para tráfego de tempo real. Por esta razão, mecanismos tem sido propostos para prover a Internet de novos serviços e protocolos que permitam às aplicações obterem melhores garantias da rede nos serviços prestados.

A capacidade da rede de oferecer diferentes níveis de serviço é o que se denomina suporte a QoS. Para a implementação de provimento de QoS em redes IP, além de novos protocolos, não devem ser esquecidos os roteadores que devem garantir os recursos aos diferentes tipos de fluxo.

Entre as abordagens desenvolvidas para o provimento de QoS são bem difundidas a de Serviços Integrados (Intserv – Integrated Service), e Serviços Diferenciados (Diffserv – Differentiated Service, IETF RFC 2474). O Intserv foi o primeiro a ser desenvolvido, baseia-se na reserva de recursos através do protocolo RSVP (Resource Reservation Protocol, IETF RFC 2205). O Diffserv, mais recente, é mais simples de ser implementado que o Intserv e baseia-se na diferenciação dos tipos de tráfego através do parâmetro ToS do cabeçalho IP (versão 4). Enquanto no Intserv a reserva de recursos é feita por fluxos das aplicações individuais, no Diffserv, os fluxos de diferentes aplicações são agregados sendo que QoS é provido às classes de fluxos agregados que recebem tratamento similar ao longo da rede.

Havendo a identificação dos fluxos, é possível a implementação nos roteadores de mecanismos que favoreçam os diferentes tipos de tráfego e assim surgem as disciplinas de fila tais como WFQ, PQ que dão tratamento diferentes aos pacotes com diferentes exigências em termos de QoS.

## 2.1 Disciplinas de Filas de Roteamento

Como parte dos mecanismos de alocação de recursos, cada roteador deve implementar alguma disciplina de fila para governar como os pacotes são armazenados enquanto esperam para serem transmitidos. Várias disciplinas de fila têm sido utilizadas para controlar como os pacotes são transmitidos (**bandwidth allocation**) e quais pacotes são descartados (**dropped**) em razão de alocação de espaço nos buffers.

A disciplina de fila afeta a latência experimentada pelo pacote, pois determina o tempo que o pacote deverá esperar antes de ser transmitido. Exemplos de disciplinas de fila são:

- FIFO (First-in-first-out),
- PQ (Priority Queuing),
- WFQ (Weighted-fair Queuing)

A disciplina FIFO é a que o primeiro pacote que chega ao roteador é o primeiro a ser transmitido. Os pacotes são mantidos na fila na ordem de chegada. Considerando que o espaço na fila é finito, isto é, a quantidade de buffers para armazenamento de mensagens é finita, se um pacote chegar e a fila estiver cheia então o roteador descarta (Drop) o pacote. O descarte não leva em consideração a que fluxo o pacote pertence e qual é a importância do pacote.

PQ é uma variação simples da disciplina FIFO. A idéia é marcar cada pacote com uma prioridade sendo que esta marca pode ser colocada no campo Type of Service (ToS) do pacote IPv4. Os roteadores implementam múltiplas filas FIFO, uma para cada classe de prioridade e dentro de cada classe os pacotes continuam sendo administrados pela disciplina FIFO. Esta disciplina de fila permite que pacotes de alta prioridade passem na frente dos demais bastando para isso que o roteador atenda à fila de maior prioridade antes das demais.

A idéia da disciplina Fair Queuing (FQ) é manter uma fila separada para cada fluxo sendo manipulado pelo roteador, sendo que o roteador atende estas filas no modo Round-robin. WFQ permite que um peso seja atribuído a cada fluxo (queue) sendo que este peso controla efetivamente a porcentagem da banda do link que cada fluxo deve obter. Pode-se utilizar o bits do campo ToS para especificar este peso.

## 2.2 Protocolo RSVP: Resource Reservation Protocol

Enquanto as redes orientadas a conexão necessitam algum tipo de protocolo para estabelecer o circuito virtual entre os roteadores, nas redes não orientadas a conexão, como é o caso das redes IP, não existem esses protocolos.

O RSVP implementa a reserva de recursos em redes Internet sem tirar sua robustez. O RSVP usa o conceito de "soft state" nos roteadores, em contraste com o conceito de "hard state" existente em redes orientadas a conexão, não exigindo ser explicitamente excluído quando não for necessário, pois um mecanismo de temporização se encarrega da exclusão. RSVP adota uma abordagem orientada a receptor, pois é função de quem recebe o controle dos seus próprios recursos e por periodicamente enviar mensagens para manter ativo o "soft state".

O protocolo RSVP consiste basicamente de duas mensagens PATH e RESV, a primeira é enviada do equipamento "upstream" para o "downstream" para solicitar a reserva de recurso e a RESV é enviado em sentido contrário para efetivar a reserva.

# 3 Criação do Modelo de Simulação para Análise das Disciplinas de Filas

Nesta experiência será criada uma rede que transporta três tipos de aplicações: FTP, vídeo e VoIP. Através de simulação será possível estudar como a escolha da disciplina de fila pelos roteadores podem afetar o desempenho das aplicações e a utilização dos recursos da rede.

## 3.1 Criar o projeto

- Executar o OPNET IT Guru Academic Edition;
- Executar **File>New** e selecionar **Project** para criar um novo projeto;
- Dar um nome ao Projeto e ao cenário, por exemplo: **Lab\_Filas** e **FIFO**;

## Laboratório de Simulação de Redes

- O **Wizard** vai pedir as seguintes informações que devem ser selecionadas como:

Painel	Selecionar
Initial Topology	Create Empty Scenario
Choose Network Scale	Campus
Specify Size, X, Y	default
Select Technologies	nenhuma


- Após estes passos terá sido criada uma área de trabalho para projeto da rede.

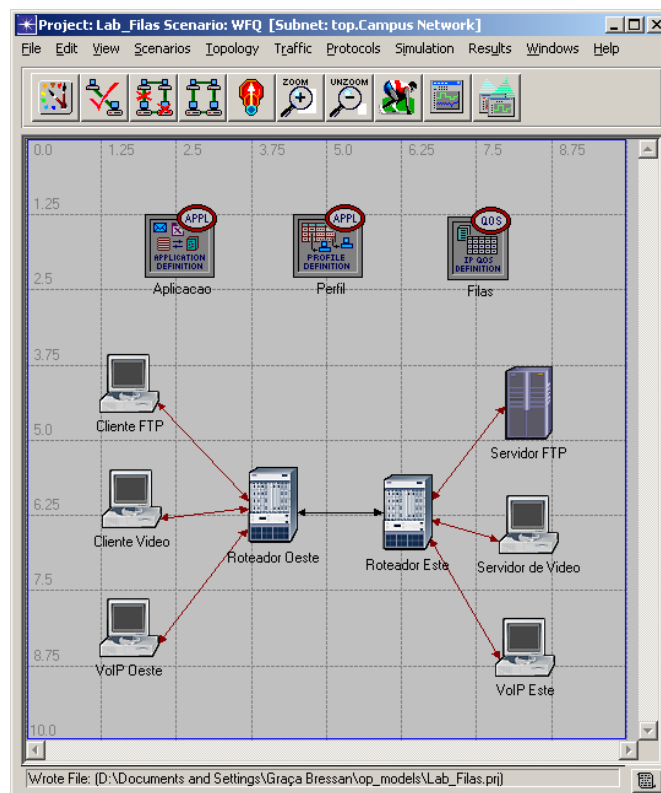
### ATENÇÃO:

- Antes de iniciar certifique-se que o Windows esteja configurado para a representação de números em língua inglesa. O Opnet não funciona corretamente se o Windows estiver configurado para língua portuguesa.
- Não esqueça de salvar periodicamente o projeto através de **File > save**.

## 3.2 Criar a rede na área de trabalho

Para criar a rede realize os seguintes passos:

- Clicar em  para abrir a caixa de diálogo **Object Palette**, caso esta não esteja aberta.
- Adicione à área de trabalho os seguintes objetos da paleta: **Application Config**, **Profile Config**, **QoS Attribute Config**, cinco estações de trabalho **ethernet\_wkstn**, um servidor **ethernet\_Server** e dois roteadores **ethernet4\_slip8\_gtwy**. Para isso clique em cada objeto e arraste para a área de trabalho. Para desabilitar a seleção, clique com o botão direito do mouse.
- Interconecte os roteadores com um link bidirecional **PPP\_DS1**. Para isso clique no objeto da caixa de diálogo **Object Palette** e a clique nos dois objetos a serem conectados.
- Conecte as estações de trabalho e o servidor aos roteadores utilizando links bidirecionais **10Base\_T** conforme mostrado na figura.
- Para alterar os nomes de cada objeto, clicar no objeto com o botão direito, selecionar **Set Name** e atribuir o nome de escolha, como mostrado na figura abaixo.



O objeto **QoS Attribute Config** permite definir os detalhes das configurações de atributos para os protocolos suportados na camada IP. Estas definições permitem definir diferentes políticas de filas tais como **FIFO**, **WFQ**, **Priority Queueing**, **custom queueing**, **MWRR**, **MDRR** e **DWRR**.

### 3.3 Configurar as aplicações

- Clicar com o botão direito do mouse o nó **Aplicacao** e selecionar **Edit Attributes**.
- Expandir a hierarquia de **Application Definitions**, alterar o valor de **rows** para 3, expandir cada uma das linhas criadas e associar os seguintes nomes a cada linha: **Aplicacao FTP**, **Aplicacao Vídeo** e **Aplicacao VoIP**.
- Para configurar a aplicação **FTP**, expanda a hierarquia **Description** e atribua **High Load** ao atributo **Ftp**. Clique em **High Load**, selecione **Edit** e defina:
  - **Inter-request Time** como **Constant(10)**
  - **File Size** como **Constant(10003000)**.
- Para configurar a **Aplicacao Vídeo**, expanda a hierarquia **Description** e atribua **Low Resolution Video** ao atributo **Video Conferencing**. Clique em **Low Resolution Video**, selecione **Edit** e defina **Type of Service** como **Streaming Multimedia** na janela **Configure ToS/DSCP** que terá aparecido.
- Para configurar a **Aplicacao VoIP**, expanda a hierarquia **Description** e atribua **PCM Quality Speech** ao atributo **Voice**. Clique em **PCM Quality Speech**, selecione **Edit** e verifique que foi atribuído **Interactive Voice (6)** ao atributo **Type of Service**.

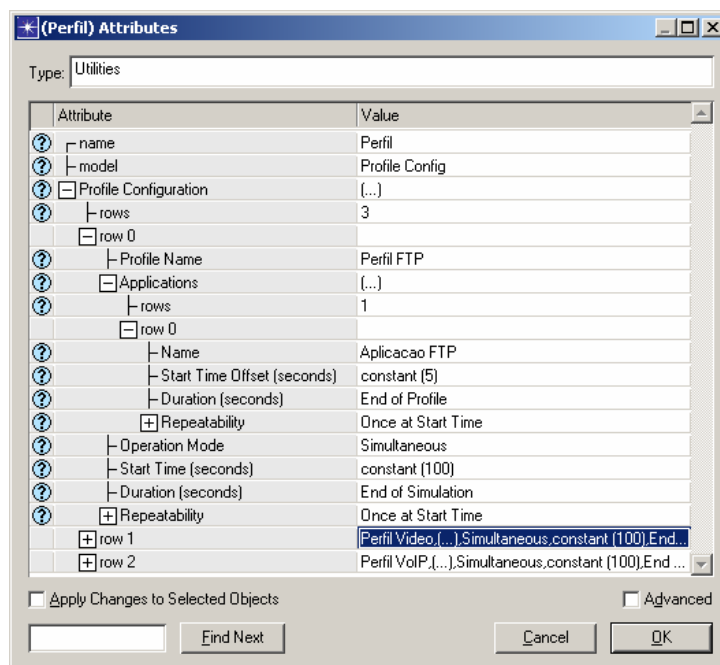
**Type of Service (ToS)** é um campo do pacote IP que permite indicar o tipo de serviço desejado e que será utilizado pelos roteadores para associar os pacotes às suas filas.

**PCM (Pulse Code Modulation)** é a técnica utilizada para digitalizar voz antes de transmitir pela rede.

### 3.4 Configurar os perfis

- Clicar com o botão direito do mouse o nó **Profiles** e selecionar **Edit Attributes**.
- Expandir a hierarquia de **Profile Configuration** e alterar o valor de **rows** para 3, expandir cada uma das linhas criadas e associar os seguintes valores aos atributos conforme mostra a tabela a seguir:

Atributo	Valor de row 0	Valor de row 1	Valor de row 2
<b>Profile Name</b>	Perfil FTP	Perfil Video	Perfil VoIP
<b>Rows</b>	1	1	1
<b>Row 0.Name</b>	Aplicacao FTP	Aplicacao Video	Aplicacao VoIP
<b>Start Time Offset(seconds)</b>	Constant(5)	Constant(5)	Constant(5)
<b>Duration</b>	End of Profile	End of Profile	End of Profile
<b>Repeatability</b>	Once at Start Time	Once at Start Time	Once at Start Time
<b>Operation Mode</b>	Simultaneous	Simultaneous	Simultaneous
<b>Start Time (seconds)</b>	Constant(100)	Constant(100)	Constant(100)
<b>Duration</b>	End of Simulation	End of Simulation	End of Simulation
<b>Repeatability</b>	Once at Start Time	Once at Start Time	Once at Start Time



### 3.5 Configurar as filas

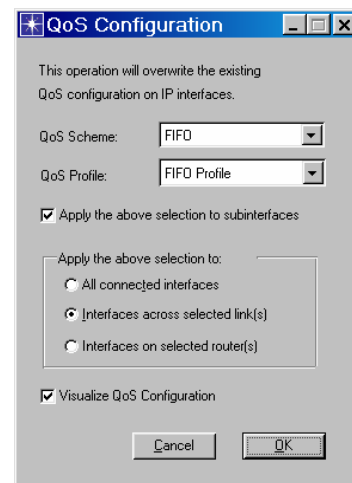
Serão mantidos os perfis default das filas definidas no objeto **Queue**. Recomenda-se verificar as configurações dos perfis **FIFO**, **PQ** e **WFQ**.

### 3.6 Configurar as estações de trabalho e os servidores

- Clicar com o botão direito no **Cliente FTP** e selecionar **Edit Attributes**. Expandir a hierarquia **Application: Supported Profiles**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Profile Name** o valor **Perfil FTP**.
- Clicar com o botão direito no **Cliente Vídeo** e selecionar **Edit Attributes**. Expandir a hierarquia **Application: Supported Profiles**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Profile Name** o valor **Perfil Video**.
- Clicar com o botão direito no **VoIP Oeste** e selecionar **Edit Attributes**.
  1. Expandir a hierarquia **Application: Supported Profiles**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Profile Name** o valor **Perfil VoIP**.
  2. Expandir a hierarquia **Application: Supported Services**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Service Name** o valor **Aplicacao VoIP**.
- Clicar com o botão direito no **VoIP Este** e selecionar **Edit Attributes**.
  1. Expandir a hierarquia **Application: Supported Profiles**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Profile Name** o valor **Perfil VoIP**.
  2. Expandir a hierarquia **Application: Supported Services**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Service Name** o valor **Aplicacao VoIP**.
- Clicar com o botão direito no **Servidor FTP** e selecionar **Edit Attributes**. Expandir a hierarquia **Application: Supported Services**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Service Name** o valor **Aplicacao FTP**.
- Clicar com o botão direito no **Servidor de Vídeo** e selecionar **Edit Attributes**. Expandir a hierarquia **Application: Supported Services**, alterar o valor de **rows** para 1 e atribuir a **Service Name** o valor **Aplicacao Video**.

### 3.7 Configurar os roteadores

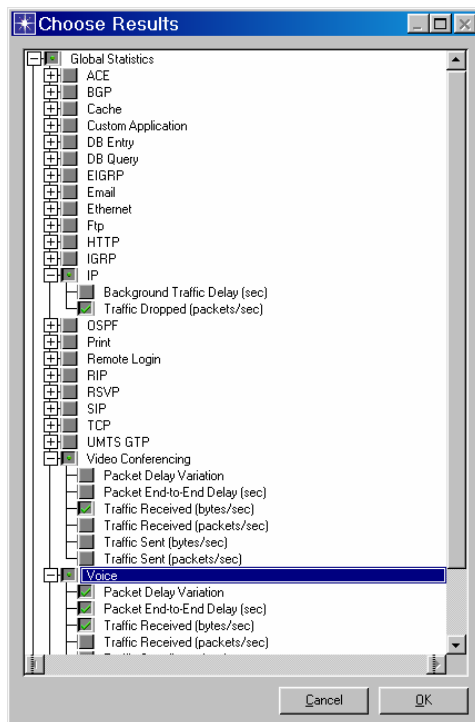
- Selecionar o **link** conectando os roteadores **Roteador Este** e **Roteador Oeste**.
- Selecionar **Protocols > IP > QoS > Configure QoS**. Deverá aparecer caixa de diálogo a direita.
- Observar que o check Box **Visualize QoS Configuration** está marcado, sendo que o link será colorido baseado no esquema de QoS utilizado. Para **FIFO** é utilizada a cor azul.



### 3.8 Escolher as estatísticas

Os testes de desempenho das aplicações definidas na rede irão coletar algumas das estatísticas a seguir:


- Clicar com o botão direito na área de trabalho da simulação e selecione **Choose Individual Statistics**.
- Expandir a hierarquia **Global Statistics** e selecionar as estatísticas assinaladas.



#### Estatísticas a serem coletadas:

- **IP > Traffic Dropped (packets/sec)**  
Esta estatística considera o número de datagramas IP descartados (dropped) em todos os nós da rede e ao longo de todas as interfaces. As razões para descarte de datagrama podem ser as seguintes:
  - Espaço insuficiente nas filas;
  - Numero máximo de hops excedido pelo datagrama;
  - Uma interface local de roteador não foi encontrada para ser utilizada como próximo hop para encaminhar o datagrama;
  - Em um roteador, a tabela de roteamento falhou no fornecimento de uma rota para o destino do datagrama.
- Vídeo Conferencing > Traffic Received (bytes/sec)
- Voice
  - **Packet Delay Variation**
  - **Packet End-to-End Delay (sec)**
  - **Traffic Received (bytes/sec)**

### 3.9 Configurar a simulação

- Clicar no botão  para abrir a caixa de diálogo de configuração/execução de simulação.
- Defina **Duration** como 150 second(s).

### 3.10 Duplicar o cenário para criar as filas PQ e WFQ

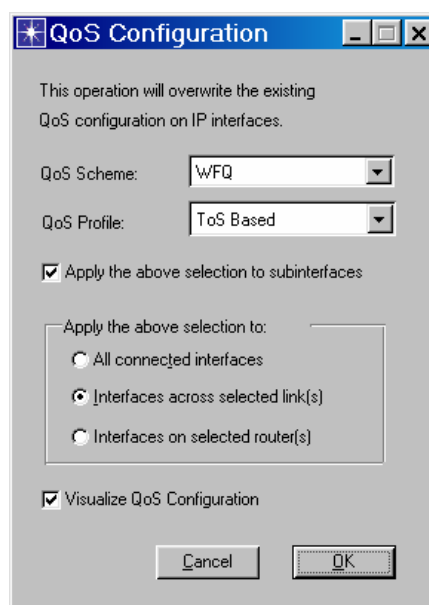
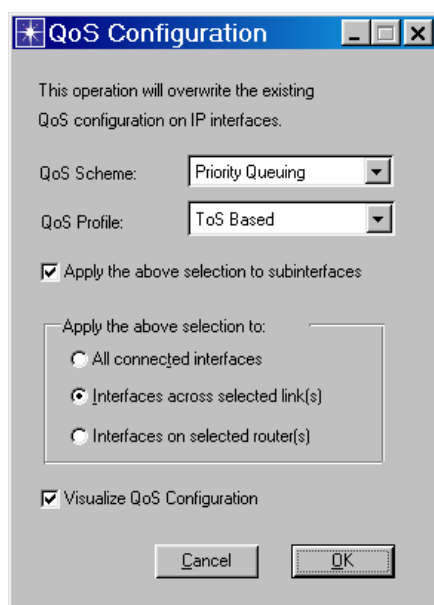
Serão criados os cenários **PQ** e **WFQ** a partir do **FIFO**. Para isto realizar as seguintes etapas:

#### a) Criação do cenário PQ

- Selecionar **Scenarios > Duplicate Scenario...** e definir o nome do cenário como **PQ**.
- Selecionar o link conectando os roteadores **East Router** e **West Router**.
- Selecionar **Protocols > IP > QoS > Configure QoS**.
- Aparecerá uma caixa de diálogo onde devem ser definidos **QoS Scheme** como **Priority Queuing** e **QoS Profile** como **ToS Based** conforme mostrado na figura.
- Observar que o check Box **Visualize QoS Configuration** está marcado, sendo que o link será colorido baseado no esquema de QoS utilizado. Para **PQ** é utilizada a cor laranja.

#### b) Criação do cenário WFQ

- Selecionar **Scenarios > Duplicate Scenario...** e definir o nome do cenário como **WFQ**.
- Selecionar o link conectando os roteadores **East Router** e **West Router**.
- Selecionar **Protocols > IP > QoS > Configure QoS**.
- Aparecerá uma caixa de diálogo onde devem ser definidos **QoS Scheme** como **WFQ** e **QoS Profile** como **ToS Based** conforme mostrado na figura.
- Observar que o check Box **Visualize QoS Configuration** está marcado, sendo que o link será colorido baseado no esquema de QoS utilizado. Para **PQ** é utilizada a cor verde.



- Observar que o check Box **Visualize QoS Configuration** está marcado, sendo que o link será colorido baseado no esquema de QoS utilizado. Para **FIFO** é utilizada a cor azul.

### 3.11 Executar as simulações

Para executar as simulações realize os seguintes passos:

- Selecione no menu **Scenarios > Manage Scenarios...**
- Mudar os valores na coluna **Results** para **<collect>** (ou **<Recollect>**) para os três cenários e clicar **OK** para iniciar a execução das três simulações.
- Ao final da simulação clicar fechar a janela com o resumo das simulações.

### 3.12 Observar os resultados

Para observar os resultados das simulações realize os seguintes passos:

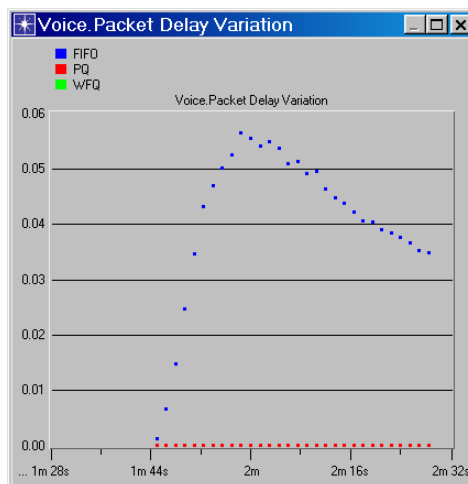
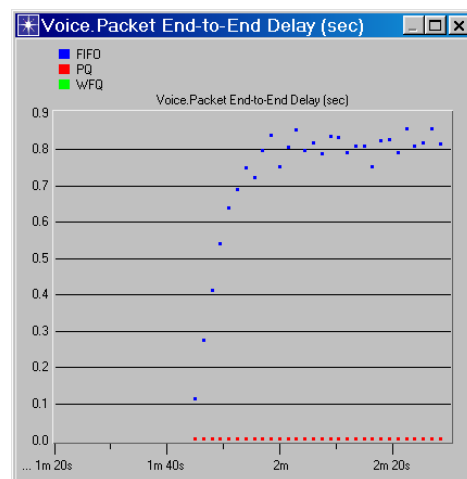
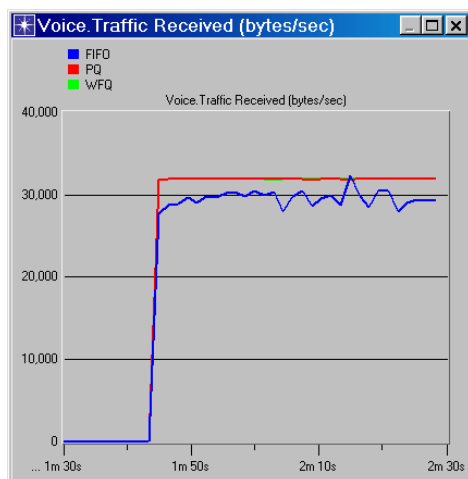
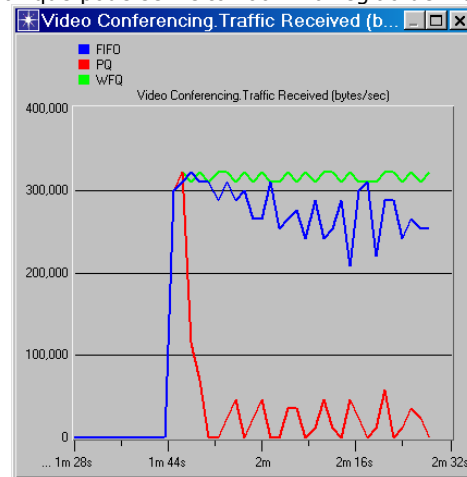
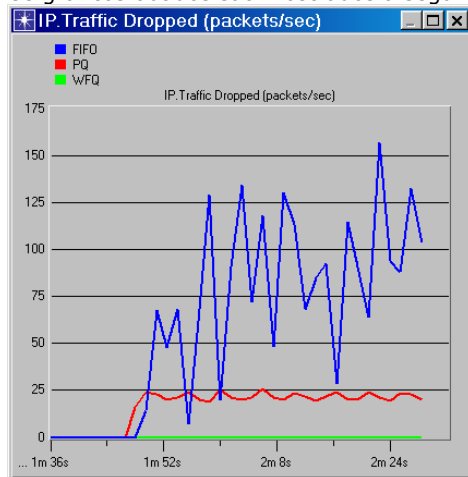
- Selecionar **Results > Compare Results** no menu principal;



## Laboratório de Simulação de Redes

- Expandir a hierarquia **Global Statistics**. Para exibir os diversos gráficos com as estatísticas realizar os seguintes passos:
  - Selecionar **IP > Traffic Dropped (packets/sec)** e clicar em **Show**.
  - Selecionar **Video Conferencing > Traffic Received (bytes/sec)** e clicar em **Show**.
  - Selecionar **IP > Traffic Dropped (packets/sec)** e clicar em **Show**.

Os gráficos obtidos são mostrados a seguir. Observar que pode ser feito zoom na região de interesse:



Notar que nos gráficos **Voice Packet End-to-End Delay** e **Voice Packet Delay Variation** o traço verde de **WFQ** não aparece, pois foi sobreposto pelo traço vermelho de **PQ**.

## 4 Questões

- 1) Analise o gráfico **IP Traffic Dropped**. Como voce explica o fato de o **PQ** ter mais perda que o **WFQ**?
- 2) Compare os gráficos **Voice Traffic Received** e **Video Conferencing Traffic Received**. Porque o **PQ** é ruim para vídeo e funciona tão bem quando o **WFQ** para voz?
- 3) Analise os gráficos obtidos e verifique que os gráficos de **Voice Packet End-to-End Delay** e **Voice Packet Delay Variation** estão sobrepostos. Construa os gráficos destas variáveis, incluindo apenas os cenários **PQ** e **WFQ** para verificar em detalhes as diferenças entre os dois. Considera a diferença significativa? Compare as três disciplinas de fila e explique seus efeitos no desempenho das três aplicações.
- 4) No projeto implementado, selecione o objeto **Filas** e **Edit Attributes** e expanda as hierarquias dos atributos **FIFO Profile**, **PQ Profile** e **WFQ Profile**. Para cada perfil responda às seguintes perguntas:
  - Quantas filas são associadas a cada disciplina?
  - Neste laboratório **ToS** foi utilizado para identificar a prioridade e o peso para as disciplinas **PQ** e **WFQ**, respectivamente. Quais são os outros parâmetros que podem ser utilizados para identificar a prioridade e o peso?
  - Em **PQ**, quantas filas são configuradas para servir a diferentes valores de **ToS**?
  - Em **WFQ**, quantas filas são configuradas para servir a diferentes valores de **ToS**?
- 5) Para todos os cenários, escolha a estatística "**queuing delay** ←" para o link que conecta **Roteador Este** a **Roteador Oeste**. Execute novamente a simulação e gere o gráfico que compara o atraso de fila para todas disciplinas de fila (cenários). Analise o gráfico.  
Dica: a estatística de "**queuing delay** ←" está sob a hierarquia **point-to-point**.

## 5 Relatório

Faça um relatório que deve incluir os seguintes tópicos:

- Uma capa com o seu nome, curso, número do laboratório e título e data realização.
- Um sumário dos objetivos do laboratório e dos tópicos abordados.
- Implementação da simulação: uma breve descrição do processo seguido para conduzir a implementação dos cenários.
- Resultados obtidos, análises dos resultados, comparação dos resultados com as expectativas prévias.
- Respostas às questões do final do laboratório, gráficos e análises adicionais.
- Conclusões que incluem o que foi aprendido, dificuldades enfrentadas, sugestões de extensões e aprimoramentos do laboratório.

## 6 Referências

1. Site da OPNET [http://www.opnet.com/services/university/itquru\\_academic\\_edition.html](http://www.opnet.com/services/university/itquru_academic_edition.html).
2. Peterson, Larry L., Davis, Bruce S., "**Computer Networks: A System Approach**", third edition, Morgan Kaufmann, ISBN: 155860832X, 2003.
3. Aboelela, Emad, "**Network Simulation Experiments Manual**", third edition, Morgan Kaufmann, ISBN: 0120421712, 2003.