

Qualidade de Serviço

Laboratório de Simulação de Redes:

Qualidade de Serviço em Redes IP – RSVP

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 segunda apostila será analisado o serviço oferecido com o protocolo RSVP.

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 uso de RSVP: Resource Reservation Protocol

Nesta experiência será criada uma rede que transporta três tipos de aplicações: FTP, vídeo e VoIP. Através de simulação será possível estudar como o uso do protocolo RSVP melhora o desempenho dos serviços VoIP.

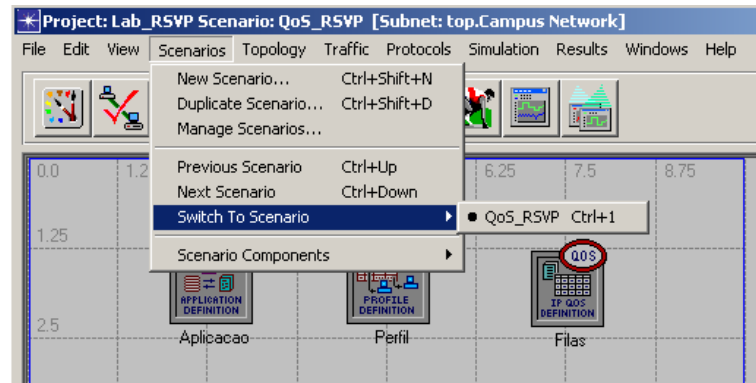
3.1 Criar o projeto

A criação deste projeto partirá do projeto desenvolvido para análise de disciplinas de filas.

- Executar o **OPNET IT Guru Academic Edition**;
- Executar **File>Open** e selecionar o projeto criado item anterior (**Lab_Filas**);
- Selecionar **File>Save As** para salvar o projeto com um novo nome tal como **Lab_RSVP**;

Laboratório de Simulação de Redes

- Selecionar **Scenários** e escolher **Manage Scenarios**. Clicar em **FIFO** e selecionar **Delete**. Clicar em **PQ** e selecionar **Delete**.
- Clicar em **WFQ** e renomear para **QoS_RSVP** e clicar **OK**.
- Verificar se ficou apenas um cenário. Para isso, Clique no menu **Scenários** e em **Switch to Scenarios**. Deve aparecer apenas o cenário **QoS_RSVP**.



- Salvar o novo projeto.

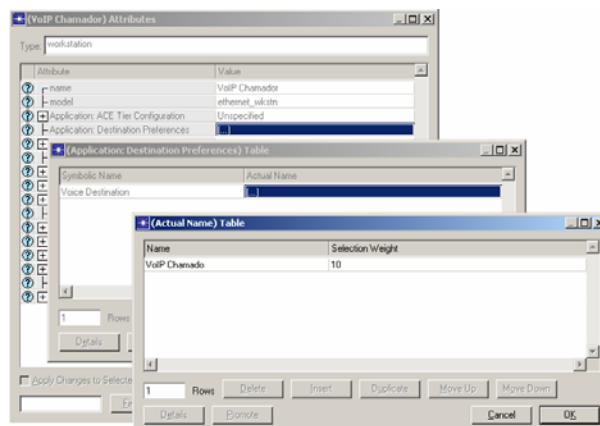
ATENÇÃO:

- 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**.

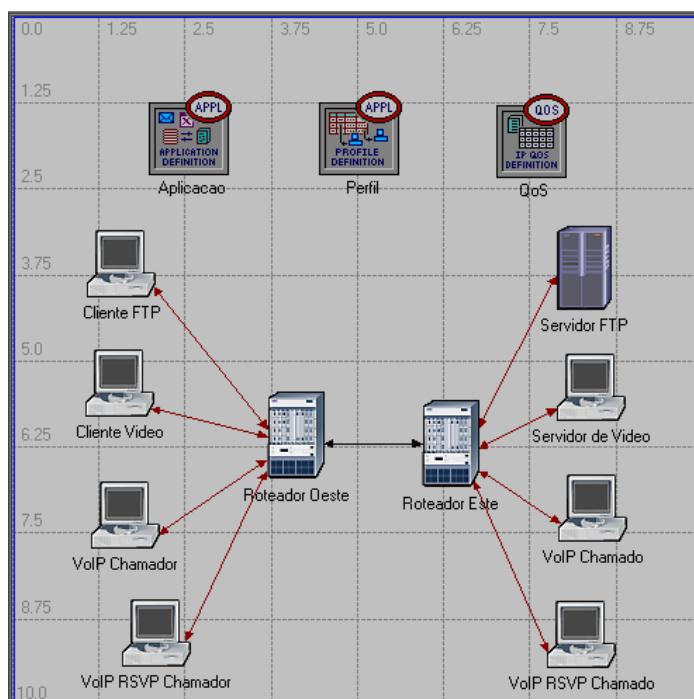
3.2 Adicionar mais nós VoIP

Neste projeto os dois nós **VoIP** serão configurados de tal forma que um sempre será o **Chamador** e outro o **Chamado**. Além disso, serão adicionados dois novos nós **VoIP_Chamador** e **Chamado** e que utilizarão **RSVP** para reservar os recursos através da rede. Desta forma será comparado o desempenho das chamadas **VoIP** com **RSVP** e sem **RSVP**.

- Clicar com o botão direito na estação **VoIP_Este** e em **Edit Attributes**. Renomear o nó como **VoIP_Chamado**, atribuir:
 - **Application: Supported Profiles: None;**
 - **Client Address: VoIP_Chamado.**
- Clicar com o botão direito no nó **VoIP_Oeste** e em **Edit Attributes**:
 - Renomear o nó como **VoIP_Chamador**;
 - Atribuir **None** a **Application: Supported Services**;
 - Editar o valor do atributo **Application: Destination Preferences**: alterar **rows** para 1, atribuir **Voice Destination** a **Symbolic Name** na nova linha, editar o atributo **Actual Name** alterando **rows** para 1, atribuir para o atributo **Name** na nova linha o valor **VoIP_Chamado**.



- Através do menu **Edit > Copy (Ctrl-C)** e **Edit > Paste (Ctrl-V)** criar uma cópia da estação **Voip_Chamado**.
- Clicar com o botão direito na cópia do nó criado e em **Edit Attributes**:
 - Renomear o nó como **VoIP_RSVP_Chamado**;
 - Selecionar o valor **Ethernet_wkstn** do atributo **Model**, selecionar **Edit** e **Ethernet_wkstn_adv**;
 - Selecionar o atributo **Client Address** e atribuir **VoIP_RSVP_Chamado** ao seu valor.
- Através do menu **Edit > Copy (Ctrl-C)** e **Edit > Paste (Ctrl-V)** criar uma cópia da estação **Voip_Chamador**.
- Clicar com o botão direito na cópia do nó criado e em **Edit Attributes**:
 - Renomear o nó como **VoIP_RSVP_Chamador**;
 - Selecionar o valor **Ethernet_wkstn** do atributo **Model**, selecionar **Edit** e **Ethernet_wkstn_adv**;
 - Editar o valor do atributo **Application: Destination Preferences: Actual Name** selecionando para o atributo **Name** o valor **VoIP_RSVP_Chamado**.
- Renomear o nó **Filas** para **QoS**.
- Salvar o projeto.



3.3 Definir os Fluxos de Dados

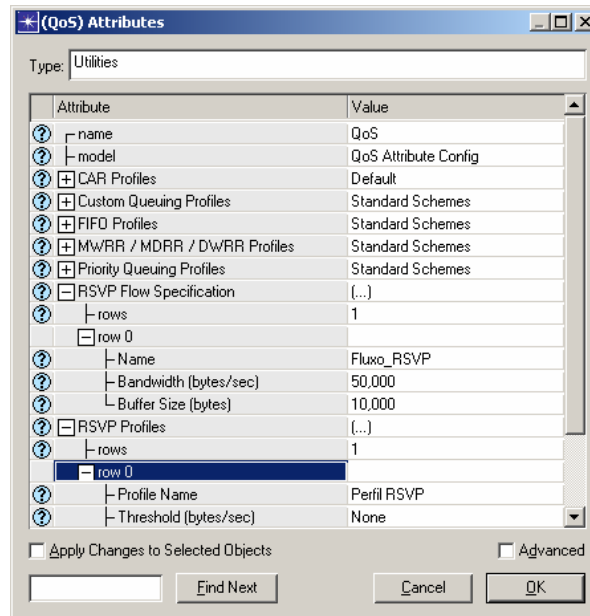
Agora serão definidas as características dos fluxos de dados dos tráfegos de voz na rede. O nó **RSVP** transmissor envia periodicamente a mensagem **PATH** utilizada para descrever o tráfego gerado. Quando o receptor recebe a mensagem **PATH**, a aplicação no host verifica as características do fluxo de dados requisitado e decide se o recurso deve ser reservado ou não. Após a decisão de reserva de recurso da rede, a aplicação no host destino envia uma requisição ao módulo **RSVP** local para auxiliar no estabelecimento da reserva que enviará a mensagem **RESV** a todos os nós do caminho na direção reversa até o nó transmissor, para efetivar a reserva de recurso da rede.

O fluxo é definido pela banda e pelo tamanho de buffer requeridos. A banda é relacionada ao valor de **token bucket rate** da especificação de fluxo das mensagens **PATH** e **RESV**. O parâmetro tamanho de buffer define o espaço necessário ao armazenamento das rajadas de dados da aplicação e se relaciona ao valor **token bucket size** das mensagens **PATH** e **RESV**.

- Clicar com o botão direito o nó **QoS** e selecionar **Edit Attributes**:

Laboratório de Simulação de Redes

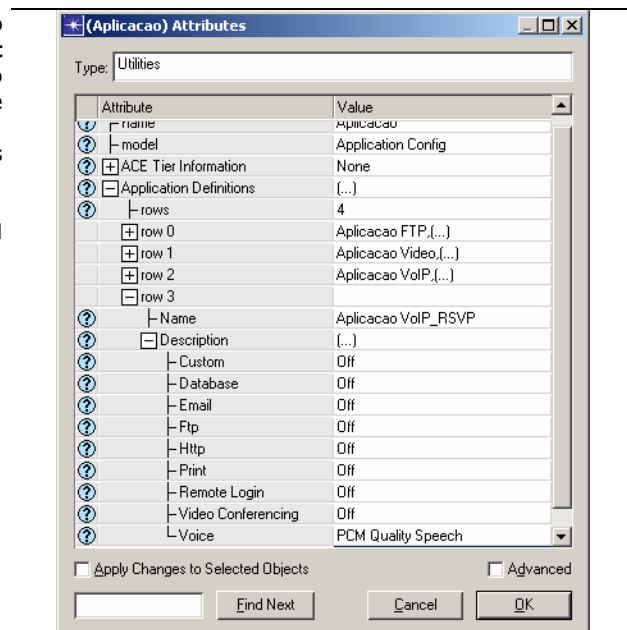
- Expandir a hierarquia **RSVP Flow Specification** e a hierarquia **row 0**; atribuir ao atributo **Name** o valor **Fluxo_RSVP**, selecionar para o atributo **Bandwidth (bytes/sec)** o valor **50,000** e para **Buffer Size (bytes)** o valor **10,000**;
- Expandir a hierarquia **RSVP Profiles** e a hierarquia **row 0**; atribuir ao atributo **Profile Name** o nome **Perfil_RSVP**



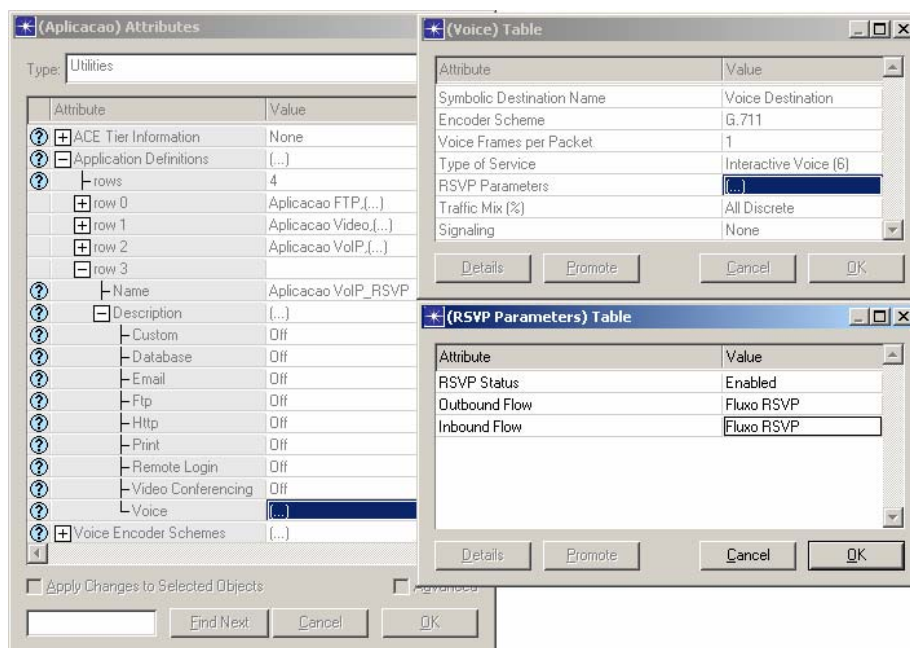
3.4 Configurar a Aplicação VoIP utilizando RSVP

A aplicação **VoIP** deverá ser configurada para utilizar a especificação de fluxo do **RSVP** da forma mostrada a seguir:

- Clicar com o botão direito o nó **Aplicacao** e selecionar **Edit Attributes**. Expandir a hierarquia do atributo **Applications Definitions** e associar a **rows** o valor 4.
- Definir os atributos de **Row 3** com os valores:
 - Name:** Aplicação_VoIP_RSVP;
 - Description:** Voice: PCM Quality Speech.



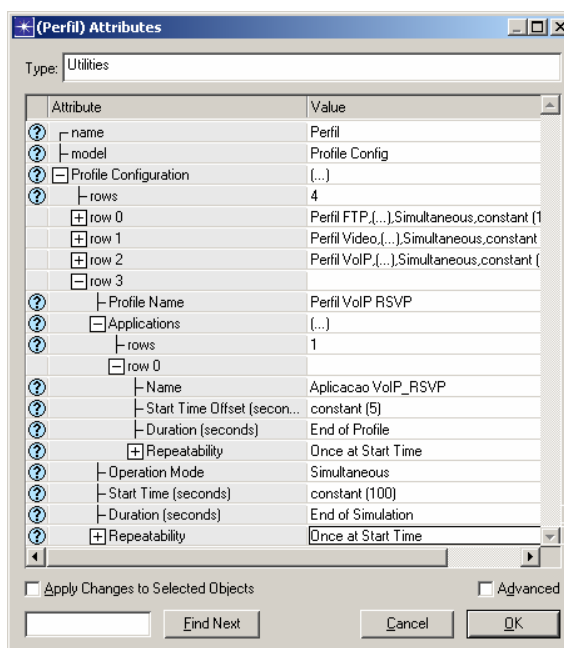
- Clicar em **PCM Quality Speech** e selecionar **Edit**. Clicar no valor de **RSVP Parameters** para editar seus parâmetros atribuindo os seguintes valores:
 - RSVP Status: Enabled;**
 - Outbound Flow: Fluxo_RSVP;**
 - Inbound Flow: Fluxo_RSVP.**



3.5 Configurar Perfis

- Clicar com o botão direito no nó **Perfil** e em **Edit Attributes**. Expandir a hierarquia do atributo **Profile Configuration** e associar a **rows** o valor **4**.
- Definir os atributos de **Row 3** com os valores:

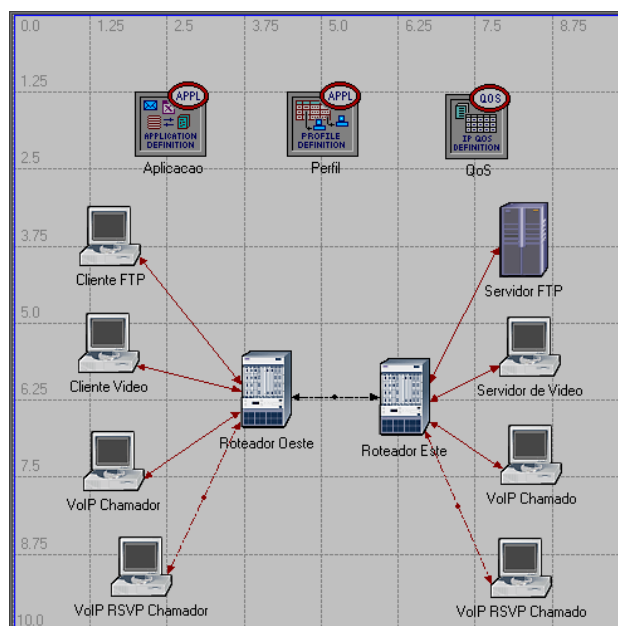
Atributo	Valor de row 2
Profile Name	Perfil VoIP_RSVP
Rows	1
Row 0.Name	Aplicacao_VoIP_RSVP
Start Time Offset (seconds)	Constant(5)
Duration	End of Profile
Repeatability	Once at Start Time
Operation Mode	Simultaneous
Start Time (seconds)	Constant(100)
Duration	End of Simulation
Repeatability	Once at Start Time



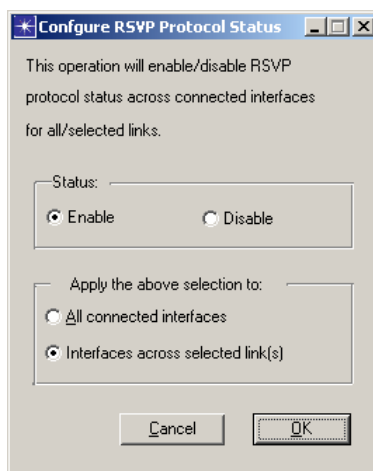
3.6 Configurar as Interfaces

O **RSVP** pode ser habilitado ou desabilitado em cada interface de nó individualmente.

- Selecionar simultaneamente os três enlaces (pressionar a tecla **shift** antes de clicar os enlaces) que conectam as estações **VoIP Chamador** e **Chamado** aos roteadores o enlace conectando os roteadores.



- Selecionar **Protocols** no menu superior, e a seguir selecione **RSVP > Configure Interface status** como **Enabled** e selecionando **Interfaces across selected link(s)** conforme mostrado a seguir:

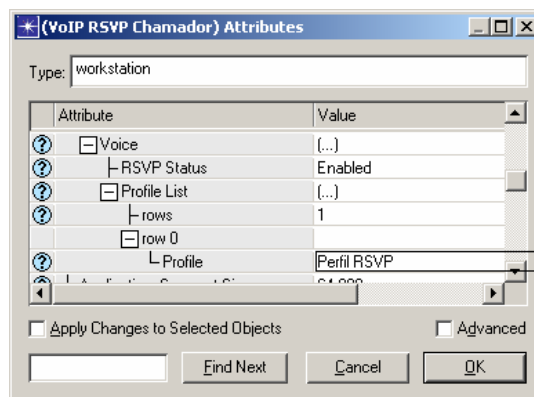


3.7 Configurar os Hosts e os Roteadores

No Opnet Guru, o **RSVP** só vai executar nos nós habilitados. Além disso, as disciplinas de fila WFQ ou outra disciplina proprietária deve ser configurada.

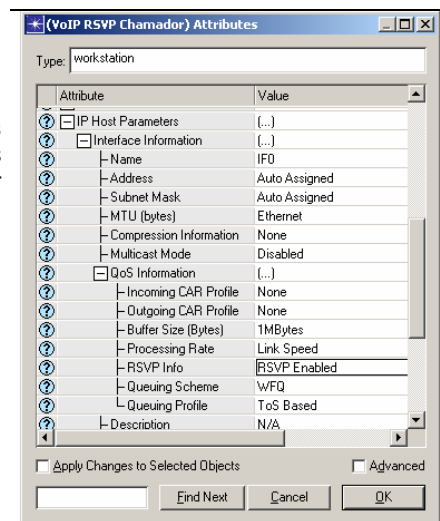
- Clicar com o botão direito o nó **VoIP_RSVP_Chamador** e selecionar **Edit Attributes**.

- Expandir a hierarquia do atributo **Application: Supported Profile** e em seguida expandir a hierarquia de **rows 0**. Atribuir **Perfil VoIP_RSVP** ao valor do atributo **Profile Name**.
- Expandir a hierarquia do atributo **Application: RSVP Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Voice**. Atribuir **Enabled** a **RSVP Status**. Expandir a hierarquia **Profile List** e atribuir ao atributo **Profile** de **row 0** o valor **Perfil_RSVP**.



- Expandir a hierarquia do atributo **IP Host Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Expandir a hierarquia **QoS Information** e atribuir a seus parâmetros:
 - Queuing Scheme** o valor **WFQ**;
 - Queuing Profile** o valor **ToS based**;
 - RSVP Info** o valor **RSVP Enabled**.

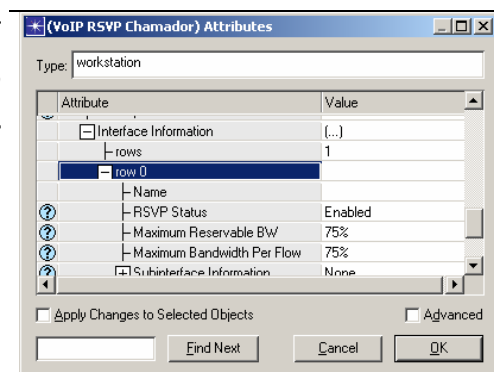
Obs: O **RSVP Info** deve ser alterado **após** a alteração dos outros dois atributos caso contrário não é possível habilitar o RSVP.



- Expandir a hierarquia do atributo **RSVP Protocol Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Expandir a hierarquia **row 0**. Verificar que o **RSVP Status** está **Enabled** e caso não esteja voltar à configuração das interfaces no passo anterior. Atribuir a seus parâmetros:

- **RSVP Status** deve estar **Enabled**;
- **Maximum Reservable BW** o valor **75%**;
- **Maximum Bandwidth Per Flow** o valor **75%**.

Obs: Escrever a porcentagem.



A seguir as operações serão realizadas de forma semelhante (mas não idêntica) para a estação **VoIP_RSVP Chamado**.

- Clicar com o botão direito o nó **VoIP_Chamado** e selecionar **Edit Attributes**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **Application: Supported Services** e substituir **Aplicacao VoIP** por **Aplicacao VoIP_RSVP**.
 - Daqui em diante é igual à configuração do **VoIP_RSVP Chamador**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **Application: RSVP Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Voice**. Atribuir **Enabled** a **RSVP Status**. Expandir a hierarquia **Profile List** e atribuir ao atributo **Profile** de **row 0** o valor **Perfil_RSVP**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **IP Host Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Expandir a hierarquia **QoS Information** e atribuir a seus parâmetros:
 - **Queuing Scheme** o valor **WFQ**;
 - **Queuing Profile** o valor **ToS based**;
 - **RSVP Info** o valor **RSVP Enabled**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **RSVP Protocol Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Expandir a hierarquia **row 0**. Verificar que o **RSVP Status** está **Enabled** e caso não esteja voltar à configuração das interfaces no passo anterior. Atribuir a seus parâmetros:
 - **Maximum Reservable BW** o valor **75%**;
 - **Maximum Bandwidth Per Flow** o valor **75%**.

A seguir será configurado o **Roteador Este**.

- Clicar com o botão direito o nó **Roteador Este** e selecionar **Edit Attributes**.
 - Clicar no valor **Ethernet4_slip8_gtwy** do atributo **Model**, selecionar **Edit** e em seguida **Ethernet4_slip8_gtwy_adv**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **RSVP Protocol Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Verificar se existem duas linhas correspondentes às duas interfaces conectadas aos nós **Roteador Oeste** e **VoIP_RSVP_Chamado** que devem estar **Enabled**. Expandir a hierarquia dessas linhas com **RSVP Status Enabled** e atribuir a seus parâmetros:
 - **Maximum Reservable BW** o valor **75%**;
 - **Maximum Bandwidth Per Flow** o valor **75%**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **IP Routing Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Expandir a hierarquia das linhas cujo RSVP está habilitado (devem ser as mesmas linhas do item anterior) e expandir **QoS Information** de ambas para atribuir a seus parâmetros:
 - **Queuing Scheme** o valor **WFQ**;
 - **Queuing Profile** o valor **ToS based**.

De forma semelhante será configurado o **Roteador Oeste**.

- Clicar com o botão direito o nó **Roteador Oeste** e selecionar **Edit Attributes**.
 - Clicar no valor **Ethernet4_slip8_gtwy** do atributo **Model**, selecionar **Edit** e em seguida **Ethernet4_slip8_gtwy_adv**.
 - Expandir a hierarquia do atributo **RSVP Protocol Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Verificar se existem duas linhas

correspondentes às duas interfaces conectadas aos nós **Roteador Este** e **VoIP_RSVP_Chamador** que devem estar **Enabled**. Expandir a hierarquia dessas linhas com **RSVP Status Enabled** e atribuir a seus parâmetros:

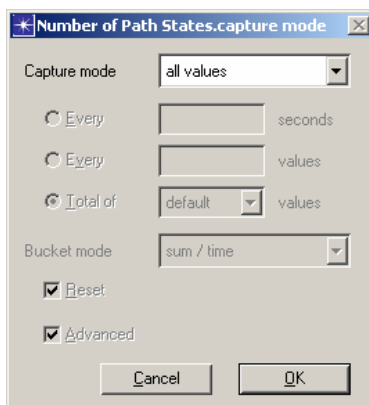
- **Maximum Reservable BW** o valor **75%**;
- **Maximum Bandwidth Per Flow** o valor **75%**.
- Expandir a hierarquia do atributo **IP Routing Parameters** e em seguida expandir a hierarquia de **Interface Information**. Expandir a hierarquia das linhas cujo **RSVP** está habilitado (devem ser as mesmas linhas do item anterior) e expandir **QoS Information** de ambas para atribuir a seus parâmetros:
 - **Queuing Scheme** o valor **WFQ**;
 - **Queuing Profile** o valor **ToS based**.

3.8 Escolha das Estatísticas

Serão obtidas estatísticas dos nós **VoIP RSVP Chamador**, **VoIP RSVP Chamado** e **VoIP Chamador**.

Estatística do VoIP RSVP Chamador :

- Clicar com o botão direito o nó **VoIP_RSVP_Chamador** e selecionar **Choose Individual Statistics**.
- Expandir a hierarquia **RSVP** e selecionar **Number of Path States**. Após a seleção clicar com o botão direito em **Number of Path States** e selecionar **Change Draw Style** no menu **Pop-up**, escolhendo a seguir a opção **bar chart**.
- Na mesma hierarquia **RSVP** clicar novamente com o botão direito em **Number of Path States** e selecionar **Change Collection Mode** escolhendo no menu **Pop-up** a opção **Advanced**. Selecionar em **Capture mode** a opção **all values**.



- Expandir a hierarquia **Voice Calling Party** e selecionar as estatísticas: **Packet Delay Variation** e **Packet End-to-End Delay (séc)**

Estatística do VoIP RSVP Chamado :


- Clicar com o botão direito o nó **VoIP_RSVP_Chamado** e selecionar **Choose Individual Statistics**.
- Expandir a hierarquia **RSVP** e selecionar **Number of Resv States**. Após a seleção clicar com o botão direito em **Number of Resv States** e selecionar **Change Draw Style** no menu **Pop-up**, escolhendo a seguir a opção **bar chart**.
- Na mesma hierarquia **RSVP** clicar novamente com o botão direito em **Number of Resv States** e selecionar **Change Collection Mode** escolhendo no menu **Pop-up** a opção **Advanced**. Selecionar em **Capture mode** a opção **all values**.


Estatística do VoIP Chamador :


- Clicar com o botão direito o nó **VoIP_ Chamador** e selecionar **Choose Individual Statistics**.
- Expandir a hierarquia **Voice Calling Party**, e selecionar as estatísticas: **Packet Delay Variation** e **Packet End-to-End Delay (séc)**

3.9 Configurar e executar a Simulação

A seguir deve ser configurada a duração da simulação:

- Clicar no botão  após o qual será exibida a janela Configuration Simulation.
- Selecionar o painel **Common** e verificar se **Duration** está com o valor **150 seconds** caso contrário atribuir este valor.
- Selecionar o painel **Global Attributes** e garantir que o valor de **RSVP Sim Efficiency** seja **Enabled**. Esta configuração reduz o tempo de simulação e o consumo de memória evitando o reenvio de **Paths** e **Resvs** de refrescamento.

Para executar a simulação clicar no botão  e em seguida no botão **Run**. Ao final da simulação clicar em **Close**.

- Clicar no botão  após o qual será exibida a janela Configuration Simulation.
- Selecionar o painel **Common** e verificar se **Duration** está com o valor **150 seconds** caso contrário atribuir este valor.
- Selecionar o painel **Global Attributes** e garantir que o valor de **RSVP Sim Efficiency** seja **Enabled**. Esta configuração reduz o tempo de simulação e o consumo de memória evitando o reenvio de **Paths** e **Resvs** de refrescamento.

4 Visualização dos Resultados

Para visualizar e analisar os resultados:

- Selecionar **View Results** do menu **Results**.
- Selecionar **Packet End-to-End Delay** de ambos os nós **VoIP Chamador** e **VoIP RSVP Chamador**. Selecionar **Overlaid Statistics** e **time_average**.
- Clicar em **Show** para obter o seguinte gráfico.
- De forma análoga, obtenha e compare os gráficos de **Packet Delay Variation** e **Packet End-to-End Delay** dos nós **VoIP Chamador** e **VoIP RSVP Chamador**.
- Prepare o gráfico que o número de estados **Path** e **Resv**. Selecionando as estatísticas a seguir e verificando que **Stacked Statistics** e **As Is** estão selecionados.
- Clicar com o botão direito no gráfico resultante e escolha **Edit Panel Properties** e em seguida atribua os valores:
 - **Horizontal Min:** 104.999s
 - **Horizontal Max:** 105.072s
- Após clicar **OK** será exibido o seguinte gráfico.

5 Questões

1. Analise os gráficos obtidos e verifique os efeitos do RSVP sobre aplicações de voz. Explique os números dos estados Path e Resv.
2. Como a taxa de transmissão do enlace conectando os roteadores afetam o desempenho (tal como, **Packet End-to-End Delay**) das aplicações de voz e vídeo conferência? Para responder a esta questão, crie um novo cenário duplicando o **QoS_RSVP** denominando o novo cenário de Q2_HighRate. Neste novo cenário, substitua o enlace atual **PPP_DS1** (taxa de transmissão de 1,544 Mbps) por um enlace **PPP_DS3** (taxa de transmissão de 44,736 Mbps).

6 Referências

1. Site da OPNET http://www.opnet.com/services/university/itguru_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.