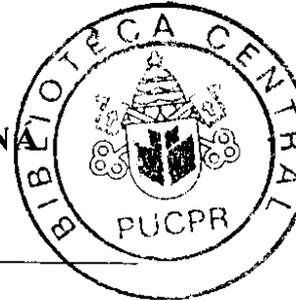


**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ**  
Programa de Pós Graduação em Informática Aplicada

---



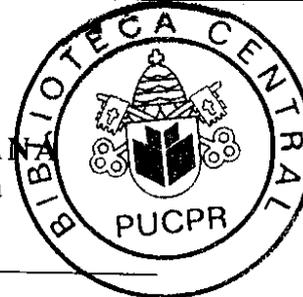
---

**MODELAGEM DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO VIA  
FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DISCRETA**

**ROBERTO CESAR BETINI**

---

Curitiba, 06 de dezembro de 2000.



**DISSERTAÇÃO**  
apresentada a PUC PR  
para a obtenção do título de

**PROFESSOR TITULAR**

por

**ROBERTO CESAR BETINI**

**MODELAGEM DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO VIA  
FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DISCRETA**

Banca Examinadora:

Presidente:

Prof. Dr. MANOEL CAMILLO DE O. P. NETO

Examinadores:

Prof. Dr. JÚLIO CESAR NIEVOLA

Prof. Dr. EDGARD JAMHOUR

T  
004  
B563 m  
2000  
C7.2

Curitiba, 06 de dezembro de 2000.

---

**MODELAGEM DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO VIA  
FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DISCRETA**

---

APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA

-----:  
Prof. Dr. Manoel Camillo de O P. Neto (Presidente)  
Nota:

-----  
Prof. Dr. Júlio Cesar Nievola  
Nota:

-----  
Prof. Dr. Edgard Jamhour  
Nota:

Data: /12/2000

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>01</b>
<b>2. MODELOS E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS .....</b>	<b>04</b>
2.1 DEFINIÇÃO DE MODELOS .....	04
2.2 FUNÇÕES E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS .....	05
2.3 TIPOS DE MODELOS .....	06
2.3.1 MODELOS ICÔNICOS OU FÍSICOS .....	06
2.3.2 MODELOS ANALÓGICOS .....	07
2.3.3 MODELOS SIMBÓLICOS .....	07
2.3.4 MODELOS PROCEDURAIS OU DE SIMULAÇÃO .....	08
2.4 PROCESSO DE SELEÇÃO DO TIPO DE MODELO .....	10
<b>3. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS .....</b>	<b>12</b>
3.1 OBJETIVOS .....	13
3.2 BENEFÍCIOS .....	14
3.3 ETAPAS DE UM ESTUDO UTILIZANDO SIMULAÇÃO .....	16
<b>4. FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO PARA REDES DE COMUNICAÇÃO ..</b>	<b>22</b>
4.1 A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO IDEAL .....	24
4.1.1 PROJETISTAS DE REDES DE COMUNICAÇÃO .....	25
4.1.2 PESQUISADORES .....	25
4.2 POTENCIALIDADES DE FERRAMENTAS GENÉRICAS .....	25
4.3 FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO DE MERCADO .....	28
4.4 OUTRAS FERRAMENTAS DE PROJETO DE SISTEMAS .....	32
4.4.1 SUPERVISÃO E GERENCIAMENTO DE SISTEMAS .....	33
4.4.2 SERVIÇOS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO .....	33
4.4.3 PESQUISA E APLICAÇÕES ESPECIAIS .....	34
4.5 DEFININDO NECESSIDADES .....	35
4.6 ESTUDO DE CASOS USANDO SIMULAÇÃO .....	37
4.6.1 ESTUDO DE CASO 1 .....	37
4.6.2 ESTUDO DE CASO 2 .....	47
<b>5. UMA PROPOSTA DE QoS PARA REDES IP .....</b>	<b>56</b>
5.1 UM MODELO PARA FORNECER QoS FIM-A-FIM EM REDES IP .....	59
5.2 DIFFSERV E MPLS .....	60
5.3 ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO DIFFSERV .....	61
5.4 ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO MPLS .....	63
5.5 ACESSO COM QoS .....	64
5.6 QoS DE BACKBONE .....	64
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>7. PESQUISA FUTURA .....</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>69</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Classificação dos tipos de modelos.....	08
<b>Figura 2.2:</b> Processo de seleção do tipo de modelo.....	10
<b>Figura 3.1:</b> Técnicas de previsão de performance.....	13
<b>Figura 3.2:</b> Etapas de um estudo de simulação.....	17
<b>Figura 4.1:</b> IT DecisionGuru da Opnet Technologies representando um backbone IP de rede interconectado via roteadores.....	24
<b>Figura 4.2:</b> Modelando uma WAN via NetRule.....	28
<b>Figura 4.3:</b> Modelando uma rede de comutação de circuitos via NetCracker Professional.....	30
<b>Figura 4.4:</b> Público alvo e respectivo nível de conhecimento requerido para as 10 ferramentas de modelagem de sistemas de comunicação discutidas acima.....	32
<b>Figura 4.5:</b> Topologia do Modelo de rede descrito.....	40
<b>Figura 4.6:</b> Fonte de mensagem de E-Mail.....	41
<b>Figura 4.7:</b> Fonte de resposta de E-mail.....	42
<b>Figura 4.8:</b> Fonte de sessão LAN VOICE.....	45
<b>Figura 4.9:</b> Tela de seleção do tipo de relatório esperado na simulação do sistema.....	46
<b>Figura 4.10:</b> Backbone Frame Relay com 9 acessos.....	48
<b>Figura 4.11:</b> Backbone IP (circuitos ponto a ponto).....	49
<b>Figura 4.12:</b> Circuitos ponto-a-ponto (local) e Frame Relay (backbone).....	49
<b>Figura 4.13:</b> Backbone Frame Relay com 16 acessos.....	52
<b>Figura 4.14:</b> Backbone IP (circuitos ponto a ponto) com 16 acessos.....	53
<b>Figura 5.1:</b> Relatório de lucratividade de setembro de 1998 a setembro de 1999.....	56
<b>Figura 5.2:</b> Cabeçalhos de pacote para (a) IPv6 e (b) IPv4.....	57
<b>Figura 5.3:</b> IP sobre DWDM.....	58
<b>Figura 5.4:</b> Passos para obter QoS na Internet.....	60
<b>Figura 5.5:</b> Rede DiffServ tratando o campo ToS.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 4.1:</b> Características que melhor suportam um determinado profissional.....	36
<b>Tabela 4.2:</b> Maiores tempos de resposta médios obtidos.....	45
<b>Tabela 4.3:</b> Resultados relacionados as redes Ethernet e Token Ring.....	46
<b>Tabela 4.4:</b> Comparativo de tempo de resposta (ms) vs Solução.....	50
<b>Tabela 4.5:</b> Comparativo de custos (R\$) vs Solução.....	51
<b>Tabela 4.6:</b> Comparativo de tempo de resposta (ms) vs Solução para um total de 16 acessos.....	53
<b>Tabela 4.7:</b> Comparativo de custos (R\$) vs Solução.....	54
<b>Tabela 4.8:</b> Custo do roteador.....	55

## RESUMO

A modelagem de sistemas de comunicação é uma tarefa difícil que pode ser facilitada pelo uso de ferramenta de simulação discreta. Neste trabalho descrevemos como a modelagem dos sistemas pode ser feita a contento via simulação. Apresentamos e discutimos as potencialidades de várias ferramentas de simulação existentes no mercado. Realizamos 2 estudos de caso utilizando uma poderosa ferramenta de mercado chamada COMNET III envolvendo a resolução de problemas impossíveis de serem resolvidos com precisão, via formulação analítica, devido a sua natureza dinâmica. O primeiro estudo de caso é um problema típico de profissionais que atuam na área de supervisão ou gerência de sistemas de comunicação. O segundo estudo de caso, é um problema natural de profissionais projetistas de sistemas de comunicação. Mostramos que a ferramenta de simulação utilizada resolve os problemas com certa facilidade e exatidão desde que o profissional envolvido saiba configurar de acordo os recursos de rede, periféricos e protocolos envolvidos no sistema configurado via simulador.

Finalmente apresentamos uma proposta para QoS em redes IP. Nesta proposta mostramos como provedores de serviços de redes IP podem garantir QoS de acordo com o tipo de fluxo sendo tratado. Salientamos como a ferramenta de simulação, agora sendo usada em pesquisa pura, poderia contribuir para o detalhamento dos tipos de tráfego no ponto de acesso de rede ou mesmo a nível de backbone de rede para que os acordos de nível de serviço sejam garantidos.

### PALAVRAS-CHAVE

Simulação / Redes IP / QoS

### ÁREAS/SUB-ÁREAS DE CONHECIMENTO

Engenharia Elétrica / Telecomunicações

Ciência da Computação / Sistemas de Computação

# 1. INTRODUÇÃO

A modelagem de sistemas tem-se desenvolvido paralelamente ao avanço do conhecimento humano, chegando alguns autores a afirmar que o progresso da ciência está associado ao avanço de técnicas de confecção e uso dos modelos.

Redes comutadas de pacote tem mudado consideravelmente nos últimos anos. Um dos fatores para estas mudanças é o aumento dramático na capacidade de comunicação dos links para velocidades maiores que Gb/s [16,20], representando um aumento significativo sobre os típicos canais de comunicação nas redes comutadas de pacote de hoje. Um segundo fator é o rápido crescimento alarmante da Internet e a possibilidade de migração ou integração de serviços que hoje são fornecidos por redes separadas como rede de telefonia cabeadas ou não, redes de TV a cabo, etc., num único backbone. Porém isto somente será possível caso possamos utilizar e realizar o mínimo de mudanças na estrutura destas redes antigas já instaladas e caso possamos oferecer aos serviços que serão prestados pela Internet níveis de QoS adequados [14,19]. Desta forma um de nossos objetivos nesta monografia é apresentar um modelo para fornecimento de QoS em redes IPv4, pois acreditamos que com o mínimo de mudanças e custos, o velho IPv4 pode fornecer a tão sonhada QoS a custos razoáveis aos Provedores de Serviço Internet.

Não somente a questão do QoS porém grande parte dos protocolos de comunicação para estas redes podem ser desenvolvidos e estudados através de técnicas de modelagem e simulação [3, 4, 5].

Portanto abordaremos o tema geral como "Modelagem de Sistemas de Comunicação via Ferramenta de Simulação Discreta." O assunto para este tema é muito extenso, e por este motivo, nós introduzimos aqui as premissas básicas para o seu enfoque. Desta forma, apresentamos técnicas de modelagem de sistema, discutimos alguns modelos de simulação discreta, abordamos o uso da programação computacional para a programação do simulador, apresentamos uma lista de ferramentas de simulação importantes para a modelagem de sistemas de comunicação e discutimos suas potencialidades. Detalhamos 2 estudos de caso utilizando uma ferramenta de mercado poderosa chamada COMNET III. No primeiro estudo de caso resolvemos um problema de supervisão e gerência de redes de comunicação. No segundo estudo de caso pesquisamos várias tecnologias possíveis para o projeto de um sistema de comunicação. Avaliamos sua relação custo/benefício e determinamos a melhor solução que satisfaça os níveis de serviço exigidos pelo usuário. Finalmente fizemos uma proposta de QoS em redes IP onde deixamos claro que é possível

fornecer serviços IP com qualidade via IPv4. Salientamos também como seria usada a ferramenta de simulação no sentido de classificar os tipos de tráfego e conseqüentemente ajudar na seleção de políticas de tratamento dos pacotes para que os acordos de níveis de serviços feitos com os usuários, sejam garantidos.

A descrição do sistema, a fim de satisfazer as necessidades de estudo e análise, consiste em escolher adequadamente procedimentos e formas de representar componentes e expressar as relações entre os mesmos por expressões lógicas ou matemáticas. Este processo é conhecido como abstração e o resultado expresso é conceituado como o modelo do sistema, idéia, fenômeno ou instrumento em estudo.

Inicialmente é mostrada, no capítulo 2, a técnica de modelagem de sistemas, os diversos tipos de modelos, assim como o processo de seleção do tipo de modelo mediante uma situação real de análise.

No capítulo 3 é apresentado conceitos sobre os modelos de simulação discreta, destacando-se os seus objetivos, benefícios e etapas a serem cumpridas num estudo via simulação.

O capítulo 4 trata especificamente de ferramentas de simulação de mercado disponíveis para modelagem de sistemas de comunicação. Apresentamos uma lista de ferramentas e detalhamos suas potencialidades e as necessidades que um certo tipo de profissional poderia ter para realizar seu trabalho, seja ele de pesquisa, projeto ou gerenciamento de um sistema. Mostramos 2 estudos de caso onde um problema de supervisão ou gerência de redes é resolvido. No outro problema salientamos a facilidade de se utilizar simulação em projeto de sistemas de comunicação.

No capítulo 5 discutimos uma proposta de QoS para redes IP. Mostramos as tecnologias hoje disponíveis ou em discussão que poderiam garantir QoS a redes IP, o MPLS e o DiffServ. O MPLS ainda esta em discussão, sendo que o DiffServ já é um draft. Indicamos como estas tecnologias poderiam ser usadas para garantir QoS a serviços IP e como a simulação poderia ser um meio para atingir esta finalidade.

No capítulo 6 apresentamos uma conclusão de nossos estudos, resumindo as principais características de ferramentas de simulação discreta na modelagem de sistemas de comunicação e sugerindo regras específicas a serem levadas em consideração na modelagem e desenvolvimento de arquitetura de protocolos para sistemas de comunicação.

Verificamos que o DiffServ é mais que um modelo para gerar QoS a Internet. Ele é uma abordagem que pode ser implementado com a ajuda de técnicas de simulação para definição de PHB (*Per-Hop Behavior*) e tecnologias que seguem as especificações do IETF. A solução deve funcionar porque ela responde aos requerimentos de QoS fim-a-fim sem alterar a natureza não orientada a conexão do IP.

Quando o MPLS for usado ele deverá melhorar a engenharia de tráfego do backbone de redes IP. Porém o controle de acesso de tráfego a rede via DiffServ é o passo mais importante a ser seguido para QoS em redes IP. Com o controle de acesso para definições de QoS e gerenciamento da rede nas pontas, os provedores podem gerar níveis de serviço com razoável granularidade. As definições de QoS para determinados tipos de serviços poderiam ser realizadas via ferramenta de simulação durante a operação do sistema ou não.

Finalmente, no capítulo 7, apresentamos algumas extensões que poderiam ser realizadas deste estudo.

## 2. MODELOS E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

Enquanto a competição global se intensifica, as organizações estão procurando cada vez mais deixar seus clientes satisfeitos com seus serviços para assim terem uma vantagem competitiva. A mudança da era industrial para a era da informação deu nascimento a uma regra importantíssima: Produzir o produto desejado na quantidade pedida no tempo certo com o mínimo custo.

Para satisfazer esta regra, as organizações tem adotado processos de re-engenharia e programas de melhoria contínua.

Em cada mudança de processo existe um elemento de risco. A modelagem via simulação é uma das únicas ferramentas usadas para minimizar os riscos e gerenciar as mudanças. Por outro lado o gerenciamento de risco é somente uma entre as muitas vantagens e benefícios que a modelagem via simulação pode oferecer.

Antes de demonstrarmos a força da modelagem via simulação vamos considerar algumas definições.

### 2.1 DEFINIÇÃO DE MODELOS

O homem, ao estudar sistemas, objetos ou fenômenos, muitas vezes depara-se com dificuldades em analisá-los na sua forma natural de existência, por dificuldade de acesso, medição ou mesmo alto riscos e custos envolvidos. Por isto são apresentadas formas de representação que permitam manipular e compreender as entidades estudadas, quer em seus aspectos qualitativos, quer nos quantitativos. Esta representação é feita por meio de modelos [02, 08].

Um modelo é uma representação de um objeto, sistema, ou idéia em alguma outra forma que não a da entidade em si. O propósito dos modelos é o de permitir a realização de estudos sobre sistemas, analisando sua reação ante as influências externas, internas ou sua abrangência no meio ambiente.

Não existe regra absoluta para a construção de modelos, visto que cada sistema, objeto, fenômeno ou idéia apresenta características peculiares e os objetivos de estudo são, também, muito diferentes, sendo que alguns autores se referem à "arte" de modelagem [17]. No entanto um ponto serve de referência para a construção de bons modelos: a característica evolutiva.

A construção deve iniciar simples, evoluindo para uma maior elaboração, com níveis de complexidades adaptados aos objetivos propostos.

O progresso e a história da ciência e da engenharia estão intimamente relacionados com o aumento da habilidade humana em desenvolver seus modelos. No entanto, ao utilizá-los deve ser observado que a resolução do modelo do problema não resolve o problema em si.

## 2.2 FUNÇÕES E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

Buscando reconhecer alguns usos comuns dos modelos, Elmaghraby [17] define cinco funções básicas.

A primeira é a de ajuda na elaboração de raciocínios, visto que um modelo força uma organização, avaliação e validação das idéias para a representação de sistemas de forma clara e objetiva. Neste sentido, conceitos são ordenados e inconsistências eliminadas. A Segunda função é o auxílio a comunicação. A terceira função se refere aos propósitos de treinamento e instrução. A quarta função, por muitos julgada como a mais importante, é a realizações de previsões. Finalmente, a Quinta função é tornar possível a efetivação de experiências controladas, em situações onde a experimentação direta é impraticável ou custa muito.

As características de um bom modelo, segundo Little [17], seriam:

- A simplicidade de compreensão pelo usuário.
- A indicação clara dos objetivos ou propósitos.
- Consistência, no sentido de não dar respostas absurdas.
- Facilidade de controle, manipulação e comunicação dos resultados.
- Completo no nível de abrangência necessária.
- Adaptativo, com procedimentos fáceis de modificação e atualização.
- Evolucionário, podendo iniciar-se simples, tornando-se mais complexo em função da utilização.

Um importante fator ao qual a modelagem deve se ater é a capacitação do modelo para representar de maneira realística as informações qualitativas e quantitativas da entidade em estudo. Neste particular, deve ser estipulado o nível de precisão requerido para os dados e um critério de teste e aceitação. Por isto, usualmente algumas interações são requeridas, até ser encontrado um modelo para implementação, cujos resultados possam ser validados experimentalmente.

## 2.3 TIPOS DE MODELOS

Os modelos podem ser classificados em icônicos ou físicos, analógicos, simbólicos ou matemáticos e procedurais ou de simulação, conforme mostra a figura 2.1.

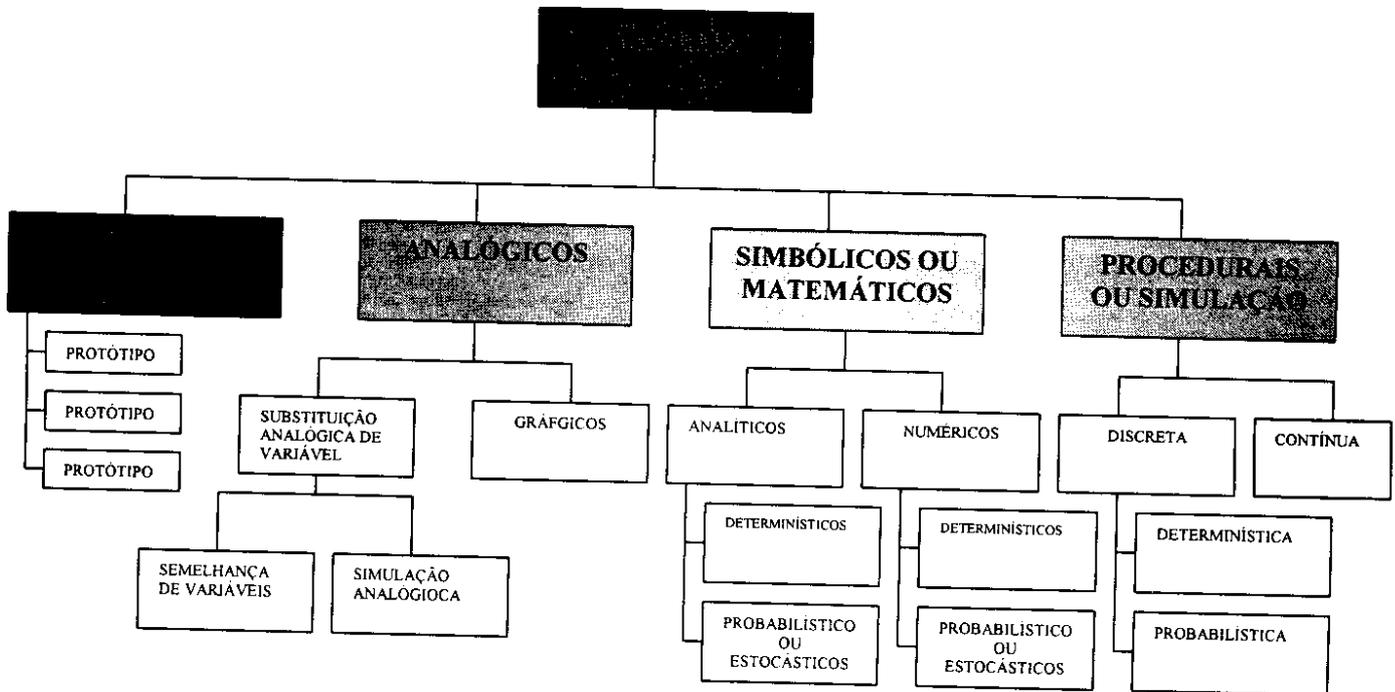


Fig. 2.1: Classificação dos tipos de modelos.

As definições sobre estes modelos será dada nas seções seguintes.

### 2.3.1 MODELOS ICÔNICOS OU FÍSICOS

Neste tipo enquadram-se os modelos que são representados por atributos físicos, semelhantes aos sistemas em estudo. Podem ser bi ou tridimensionais e são utilizados para demonstração ou experimentação indireta. A este grupo pertencem os protótipos, modelos pilotos e modelos em escala.

Os protótipos são modelos físicos que representam a equivalência um para um com o sistema real, podendo ser uma cópia contendo todos os seus níveis de detalhes e atributos. Possuem grande capacidade de fornecer informações com precisão, porém são caros para construção e teste, além de não facilitarem modificações, visando a exploração de alternativas.

Os modelos pilotos são uma versão operacional de um processo (màs não em escala industrial) ou sistema contendo os atributos essenciais predominantes da entidade modelada. São mais flexíveis que os protótipos para modificações, fornecendo informações precisas sobre desempenho e custos de operação.

Os modelos em escala podem ser em escala reduzida (túneis de vento), ou escala ampliada (átomos e células).

### **2.3.2 MODELOS ANALÓGICOS**

Modelos analógicos são aqueles nos quais as propriedades do sistema em estudo são representadas por propriedades análogas, isto é, que se comportam de maneira similar. Os estudos são feitos com um tipo de variável e os resultados transpostos para outras variáveis.

Podemos citar como exemplo o estudo do fluxo de água aplicado ao estudo de corrente elétrica. O emprego de um computador simulador aos sistemas fixos em estudo. Os gráficos, onde suas dimensões podem representar custos, tempo, produção, etc. E finalmente os modelos esquemáticos como organogramas, fluxogramas ou fluxos de processos.

### **2.3.3 MODELOS SIMBÓLICOS OU MATEMÁTICOS**

Nesta categoria de modelos, os símbolos algébricos são usados para representar os componentes dos sistemas e suas inter-relações.

Fórmulas, sistemas de equações ou desigualdades, matrizes, série de valores estatísticos, séries temporais, modelos de pesquisa operacional e econométricos são todos exemplos de modelos matemáticos.

Os modelos matemáticos dividem-se em analíticos e numéricos. Os analíticos são aqueles que resultam em uma expressão matematicamente bem definida entre as variáveis dependentes e independentes e a solução é conseguida pela resolução da expressão correspondente.

Nos modelos numéricos não é necessário o conhecimento de equações matemáticas que regem o sistema. A solução é obtida por interações, métodos de convergência, interpolação, sendo fornecido um valor estimado, simultaneamente ao erro do método.

Tanto os modelos analíticos quanto os numéricos são subdivididos em determinísticos e probabilísticos. Os modelos determinísticos apresentam relações constantes e necessárias para os parâmetros e relações dos sistemas estudados. Sempre que forem fixados os valores das variáveis independentes, valores bem definidos são obtidos para as dependentes.

A utilização de modelos analíticos determinísticos no estudo de desempenho de sistemas computacionais é um pouco restrita. Um obstáculo a estes modelos é a falta de habilidade para exibirem as características de comportamento da carga de trabalho em situações dinâmicas.

O tipo probabilístico, também chamado de estocástico, tem associado probabilidades condicionais às funções de distribuição e variáveis aleatórias. Isto caracteriza fenômenos que apresentam reprodutividade, como os biológicos, sociais e os de sistemas complexos. Eles não apresentam valor bem determinado para eventos específicos.

Como exemplo de modelo numérico determinístico podem ser apresentados a integração e derivação numérica, os métodos numéricos de resolução de equações diferenciais e a integração gráfica obtida através de digitalizadores.

O processo de Monte Carlo é um tipo de modelo probabilístico, pois utiliza resoluções numéricas e propriedades probabilísticas de ocorrência de eventos [01, 18].

#### **2.3.4 MODELOS PROCEDURAIS OU DE SIMULAÇÃO**

Modelos procedurais apresentam os elementos e inter-relações do sistema representados por procedimentos lógicos ou matemáticos. Para obtenção das informações ou resultados, eles são "executados", em vez de serem "resolvidos".

A simulação é um método de modelagem que não gera soluções por si só, como os modelos analíticos, mas servem como técnica ou ferramenta para atuar da mesma maneira que o sistema estudado, donde são obtidos dados estatísticos de desempenho para análises.

A simulação nos termos aqui propostos pode ser dividida em dois subtipos: contínua e discreta.

A simulação contínua modela sistemas em que suas variáveis mudam continuamente de valor, como é o caso das equações diferenciais. É empregada em estudos que consideram os sistemas constituídos por um fluxo contínuo de informações ou itens.

A simulação discreta é utilizada em sistemas em que a mudança de estado se dá de forma descontínua pela ocorrência de eventos que indicam o início ou o fim de uma atividade.

A simulação discreta se caracteriza pelo seguinte:

- (a) Modelagem do sistema em uma rede de fluxos.
- (b) O sistema contém componentes (recursos) ou elementos e cada um executa funções bem definidas.
- (c) Os componentes têm capacidade finita de processar os itens e, uma vez esgotada, estes esperam para o atendimento em filas.
- (d) O início e fim das operações realizadas pelos componentes são caracterizadas por eventos.

A execução deste tipo de modelo fornece informações de onde os itens individuais estão em um dado momento e outras estatísticas de utilização, tempos de espera e de atendimento.

A validação da simulação discreta é difícil de ser realizada. Um dos métodos é a comparação com o sistema em si ou protótipo deste. A técnica analítica usada para este fim é a teoria das filas [10, 21].

Dois tipos básicos de simulação discreta podem ser empregados, os determinísticos e os probabilísticos, conforme a utilização das distribuições de probabilidades.

O modelo pode ser programado em um computador através de linguagens de programação convencionais, ou por tipos especiais construídos para este fim, como é o caso do SIMSCRIPT, SIMULA [15, 21].

Existe também a possibilidade da utilização de ferramentas de simulação para análise de performance de sistemas específicos que possuem uma biblioteca de funções que correspondem aos componentes do sistema. Caso o projetista deseje a implementação de um componente novo na biblioteca, a ferramenta possibilita a criação deste novo objeto [07, 09, 13].

## 2.4 PROCESSO DE SELEÇÃO DO TIPO DE MODELO

Emshoff [08] apresenta um método para decisão sobre o uso de alguns tipos de modelos, principalmente simulação e analíticos (pesquisa operacional). A figura 2.2 mostra este processo de seleção.

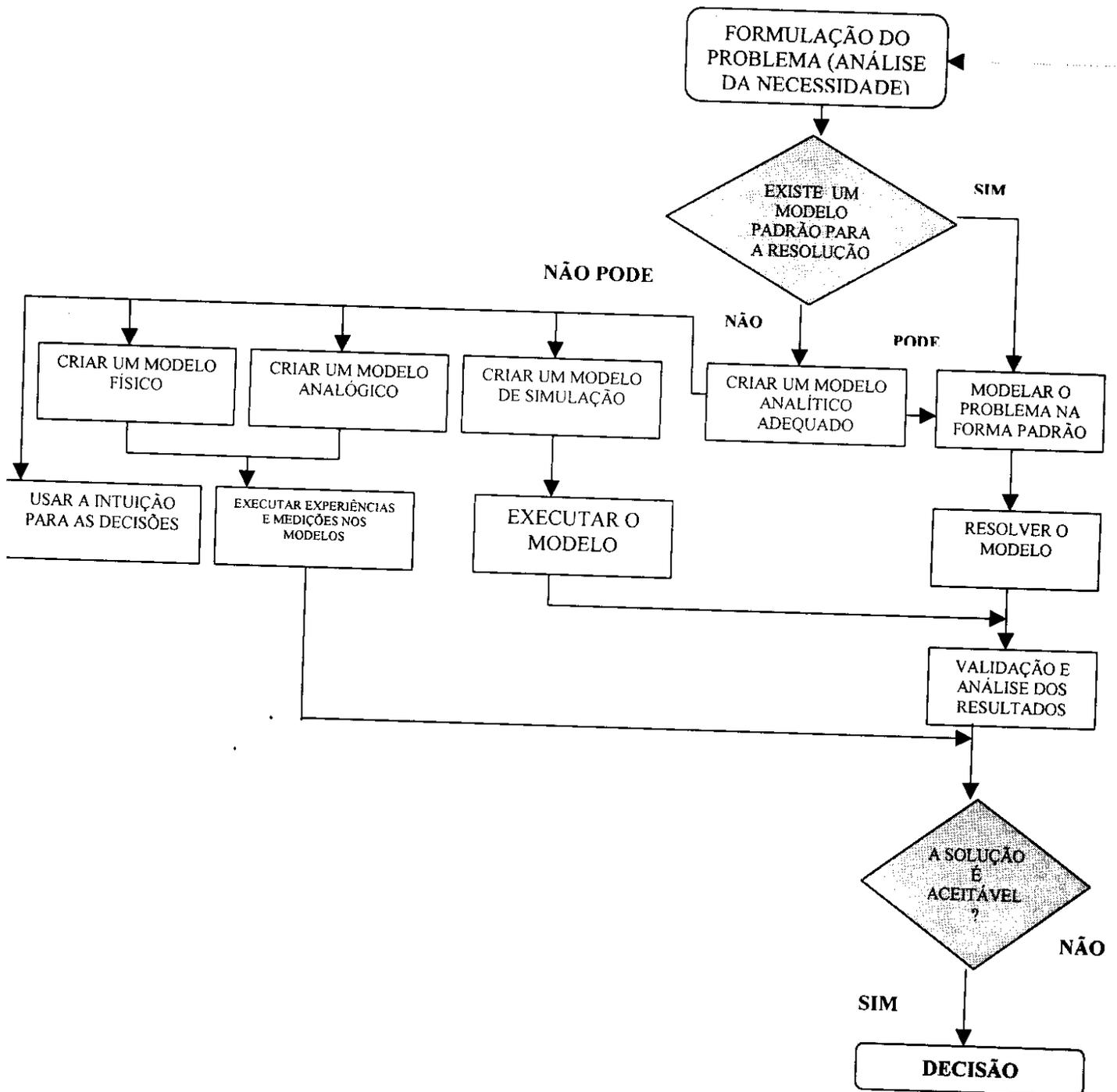


Fig. 2.2: Processo de seleção do tipo de modelo.

Em nosso trabalho adotamos a técnica de simulação discreta para modelar sistemas de comunicação, pois nestes sistemas as mudanças de estados se dão de forma descontínua e dinâmica de acordo com distribuições de probabilidades que regem a ocorrência e o inter relacionamento entre estes eventos [17, 13, 15, 22].

### 3. SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

A simulação é uma técnica que pode ser amplamente empregada por qualquer profissional.

O método de simulação é usado com grande sucesso como elemento auxiliar na tomada de decisões, principalmente o planejamento a médio e longo prazos e em situações que envolvam custo e risco elevados [15, 02]. Embora seja, em geral, consagrado que os modelos de simulação devam constituir um dos últimos recursos a serem usados na área de modelagem, devido aos custos envolvidos no desenvolvimento, eles são muito eficazes e versáteis no estudo dos mais variados problemas. O seu emprego permite o exame de detalhes específicos com grande precisão ou, ainda, projetar situações em alto grau de agregação como é o caso do projeto de protocolos [03, 04, 05, 07].

Neste particular, deve ser lembrado que os modelos de simulação podem tornar-se ferramentas valiosas nas implementações dos sistemas projetados. Um ponto a mais pode ser salientado. A construção do modelo presume um bom entendimento sobre o sistema e os equipamentos em estudo, servindo tanto para os propósitos de treinamento, como para os de acompanhamento de desempenho verificado.

O uso da simulação pode ser considerado quando uma ou mais das seguintes condições existem:

- (a) Não há uma formulação matemática completa para o problema.
- (b) Não há método analítico para a resolução do modelo matemático.
- (c) A obtenção de resultados com o modelo é mais fácil de ser realizado por simulação que por método analítico.
- (d) Não existe habilidade pessoal para a resolução do modelo matemático por técnica analítica ou numérica.
- (e) É necessário observar o desenvolvimento do processo desde o início até os resultados finais, e são necessários detalhes específicos.
- (f) Não é possível ou é muito difícil e custoso a experimentação no sistema real.
- (g) É desejado estudar períodos de tempo ou são necessárias alternativas que os modelos físicos dificilmente fornecem.

Uma das dificuldades da simulação é a validação dos modelos. O processo de validação visa determinar o grau de confiança e de correção dos resultados, já que não existe método formal de provar a correção de um modelo de simulação. A finalidade é testar se o

comportamento do simulador está de acordo com o sistema real. Uma maneira de validar o modelo é confrontar seus resultados com a realidade. Isto pode ser feito através de experiências e medições, ou por pesquisas com pessoas envolvidas no assunto. Outras formas de validação podem valer-se de testes estatísticos para avaliar as suposições e transformações de entradas e saídas. A teoria das filas geralmente se adapta a este fim [21].

O resultado final da validação é determinar se o modelo se comporta da mesma maneira que o sistema modelado e, ainda, legitimar os resultados das experiências realizadas com o modelo.

Um outro conceito importante na simulação é a análise de sensibilidade. Ela consiste em determinar a sensibilidade das respostas em função da variação dos parâmetros de entrada. A sua realização é obtida pela variação sistemática de valores dos parâmetros em algum intervalo de interesse, observando estes efeitos nas respostas do modelo.

Apesar de seu alto custo, quando comparado com técnicas matemáticas, os resultados da simulação são mais próximos da realidade. Confrontada com os modelos físicos, a simulação possibilita mais facilmente estudos de alternativas e custos mais reduzidos. No contexto geral, a simulação apresenta uma boa relação preço-eficiência, considerando-se principalmente a grande variação possível nos níveis de detalhe incorporados no estudo.

A figura 3.1 mostra algumas das técnicas usadas para a previsão de performance em sistemas computacionais e relaciona seu custo, precisão e complexidade [07].

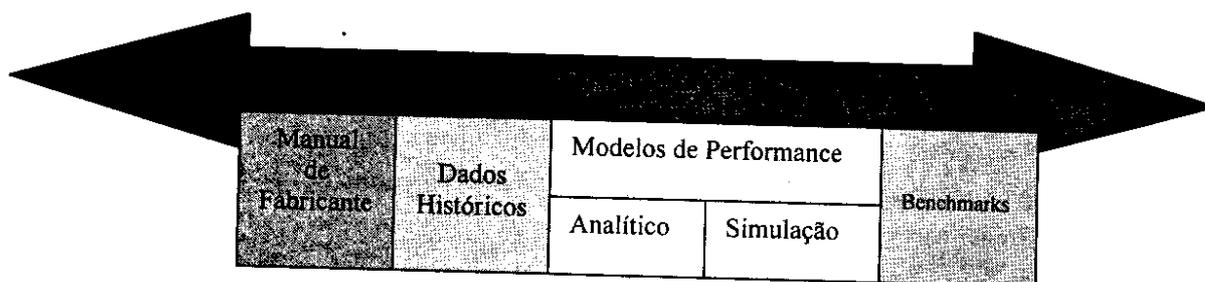


Fig. 3.1: Técnicas de previsão de performance.

### 3.1 OBJETIVOS

Os objetivos fundamentais na modelagem de sistemas via simulação são a projeção absoluta, análise de sensibilidade e investigação de diagnóstico.

A projeção absoluta se refere aos estudos de projeções e comparações absolutas de desempenho para situações previstas ou propostas. A característica fundamental é a necessidade de avaliar a função objetivo em termos absolutos, com grau de precisão menor que 5% [21]. A simulação pode abranger todas as partes do sistema.

A análise de sensibilidade destina-se às comparações de similaridade entre áreas ou partes do modelo em estudo. As decisões são tomadas na base de mudança de valores, enquanto outras variáveis são mantidas constantes, sendo úteis ao estudo de alternativas e realizações de mudanças.

A investigação de diagnóstico visa a compreensão detalhada do comportamento do sistema simulado. Examina as inter-relações e investiga o processo de transações ou produtos através do sistema. A ênfase normalmente é dada às partes restritas do sistema, refletindo o interesse do estudo.

### 3.2 BENEFÍCIOS

A seguir mostramos alguns dos benefícios obtidos pela modelagem de sistemas via simulação [02].

**Na mudança de técnicas de gerenciamento ela minimiza riscos.** Toda mudança de processo traz certo risco. O uso de análise do tipo "o que se" permite-nos testar as várias alternativas e escolher a melhor antes que qualquer ação real seja tomada. O resultado é o alcance de objetivos através de uma maneira eficiente.

**A técnica de modelagem de sistemas via simulação promove a criatividade.** Com a redução do risco e o afastamento de consequências negativas, as pessoas tornam-se menos relutante a participarem de uma iniciativa de mudança e a colaborar com novas idéias. O fluxo de idéias é maior e pode produzir uma mostra de criatividade. A presença de modelagem via simulação torna possível o teste de idéias totalmente contrárias as sendo utilizadas. Sem a simulação, estas idéias seriam muito difíceis de serem propostas e mesmo testadas.

**Captura o dinamismo do sistema.** Eventos aleatórios tal como quebra de equipamentos e chegada de transações são modelados via distribuições de probabilidade. Na execução de uma simulação, as distribuições de probabilidade que representam eventos, são amostradas através do uso de geradores de números aleatórios. Desta

forma, a interação dinâmica entre os elementos do sistema é capturada. Por exemplo, duas máquinas num fluxo sequencial podem quebrar ao mesmo tempo e não causar nenhum aumento de produção entre elas. Por outro lado, a ocorrência de paradas em diferentes tempos pode causar uma significativa obstrução ou período de tempo vazio e reduzir o throughput do sistema. Em outras palavras, *quando algo acontece* pode ser tão importante quanto *o que acontece*.

**Evita paradas ou variação do curso normal do sistema.** Num estudo para o aumento de desempenho, um sistema existente é observado e estratégias são desenvolvidas para a melhoria de sua performance. O teste de tais estratégias num sistema real poderia provocar variações anormais no funcionamento do sistema e causar resultados negativos. Num modelo de simulação, qualquer estratégia pode ser testada seguramente sem nenhuma alteração do ambiente real de operação.

**Acelera testes.** Num modelo de simulação a ocorrência de eventos são acelerados. A simulação pode avançar mais rapidamente o evento do que se ele ocorresse em tempo real. Esta característica permite ao projetista observar o comportamento de um sistema muito além no futuro. Dependendo do tamanho do modelo e dos recursos do computador, um ano inteiro pode ser simulado em minutos.

**Melhora a comunicação.** Através do uso de animação, idéias ganham vida. Relatórios gráficos e dinâmicos são também gerados para observar partes da simulação e do sistema. A maioria dos softwares de simulação geram relatórios dinâmicos contendo tabelas, figuras, escala de tempos de ocorrência de eventos com seus respectivos valores e, em certos casos, sua interpretação.

**Aumenta o número de soluções.** Os relatórios provenientes da simulação de um sistema trazem uma grande quantidade de informações objetivas sobre o problema em estudo. Desta forma, iniciativas de melhoria podem ser comparadas e priorizadas. Respostas a perguntas do tipo: "Aquela idéia funciona?" ou "Qual o grau de melhoria que iremos obter em adotar aquela idéia?", são todas solucionadas.

**Fornece soluções abrangentes.** Quando o modelo de simulação engloba vários processos, a sub otimização é evitada. Por exemplo, numa fábrica, a maximização do throughput na área de produção de partes de um bem, pode aumentar a quantidade de partes na área de montagem. Por outro lado, um modelo de simulação contendo informação sobre a área de produção e montagem pode otimizar o throughput de todo o sistema.

### 3.3 ETAPAS DE UM ESTUDO UTILIZANDO SIMULAÇÃO

As etapas de um estudo de modelagem de sistemas via simulação por computador são mostradas na figura 3.2.

O ponto mais importante no processo de modelagem é que o projetista deve ficar inteirado com o sistema no que se refere aos seus aspectos práticos de funcionamento e bases teóricas. Isto pode ser conseguido por experiência prévia ou por estudos detalhados sobre o assunto.

A função do projetista é traduzir uma situação em um modelo através da observação dos mecanismos operacionais do sistema ou pela compreensão das teorias que regem seu comportamento.

O método mais comum de modelagem de sistemas é o fluxograma. Ele consiste em entender uma situação, idéia, fenômeno ou sistema e analisar o fluxo dos seus itens principais em uma sequência de etapas de processamento, mudanças de características e de movimento, mudança de local entre os processamentos. O processo é um ponto de operação onde os produtos ou itens de fluxo sofrem mudanças e usualmente envolvem recursos materiais e procedimentos operacionais.

Um segundo método de modelagem é a abordagem funcional. Ela é usada quando uma sequência razoavelmente clara de funções é executada pelo sistema. A solução para estes casos é identificar as funções do sistema e estabelecer a sequência em que as mesmas ocorrem.

Após a identificação e definição das funções básicas, o projetista deve descer o nível de detalhe de cada função, determinando:

- (a) Onde ela ocorre.
- (b) Que informação utiliza.
- (c) Que recursos utiliza.
- (d) Quais procedimentos são seguidos.
- (e) Os resultados obtidos.

A decomposição do sistema é feita em funções que por sua vez são divididas em procedimentos e estes são especificados por inter-relacionamentos e variáveis.

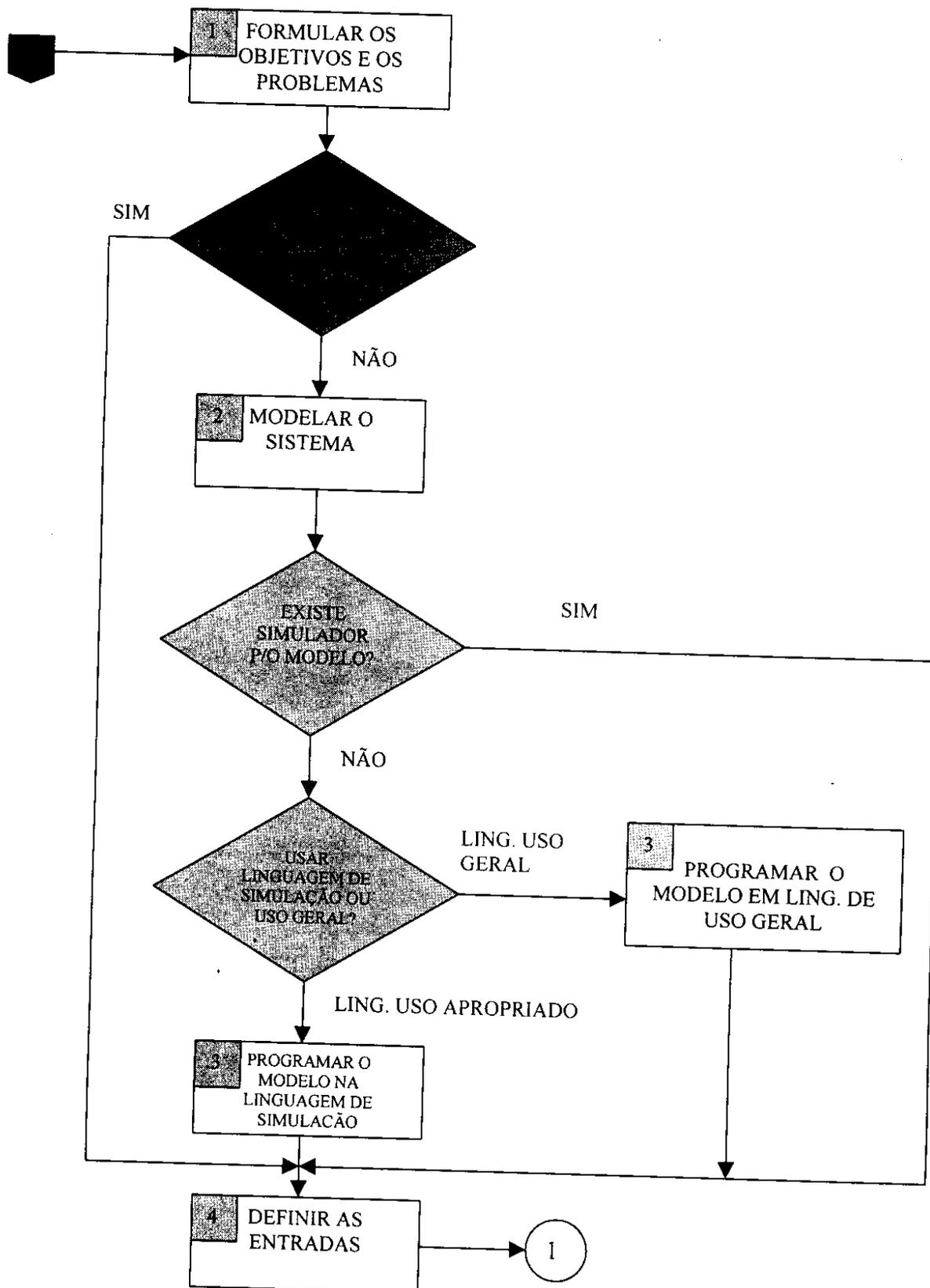


Fig. 3.2: Etapas de um estudo de simulação. (continua)

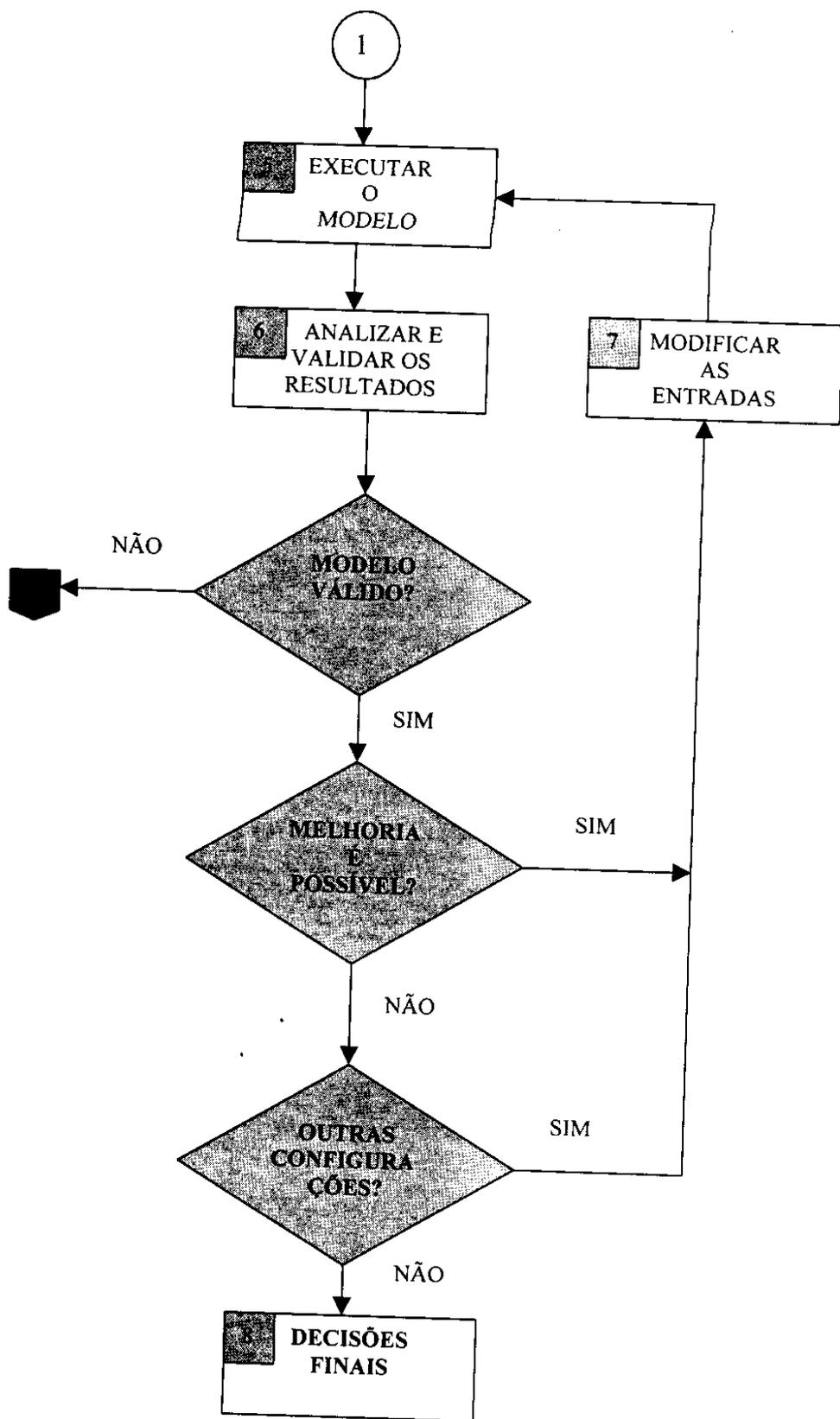


Fig. 3.2: Etapas de um estudo de simulação (continuação).

Um terceiro método de modelagem é a análise por mudança de estado, que é usada em sistemas possuidores de um grande número de relações interdependentes para as quais a vinculação com o tempo pode ser observada. Este é o caso do projeto de protocolos para sistemas de comunicações [03, 04, 05].

O princípio básico da análise por mudança de estado é que o tempo seja dividido em uma série de instantes ou pontos em que cada ponto pode ser imaginado como a tomada de "fotos" do sistema, em uma sequência tal que a sua série reproduza o funcionamento do sistema.

Cada instante ou "foto" identifica um estado do sistema, que é representado por um conjunto de valores específicos das variáveis endógenas e exógenas do sistema.

As tarefas da modelagem são identificar as variáveis relevantes e definir relações que descrevam cada estado e como ele muda de um dado instante para outro. A descrição da mudança é feita pela especificação dos procedimentos que determinam como as mudanças atualizam os valores das variáveis. Estas relações podem ser definidas facilmente em linguagem de simulação apropriada [15].

Uma vez considerado que o desenvolvimento do simulador é feito para sua utilização em computadores, a próxima etapa é a programação do modelo em linguagem computacional, ou, se isto já foi efetivado, a quarta etapa é realizada. Duas situações podem ocorrer. Uma seria realizar a programação em linguagem de uso geral, a outra, empregar as linguagens de simulação específicas para este fim. Comparações de desenvolvimento dos simuladores e das diversas linguagens podem ser encontradas nas referências [15, 21]. Do confronto cabe salientar que as linguagens de simulação são menos conhecidas que as linguagens de uso geral, mas mesmo assim apresentam bom número de vantagens quanto a facilidades e emprego para o desenvolvimento de sistemas específicos. Na utilização da resolução de problemas genéricos, as linguagens de uso geral apresentam características superiores, além de serem mais conhecidas.

O passo seguinte é a definição das entradas. Como na simulação o modelo já possui em si as características de desempenho, estas definições consistem na representação dos insumos que o meio ambiente fornecerá ao sistema, para ele operar e produzir as saídas. Estes dados devem ser identificados e preparados adequadamente em sua forma de apresentação.

Os dados necessários para a simulação são classificados em:

- Variáveis: Características ou atributos do sistema que assumem uma gama de valores distintos conforme o desempenho do sistema, quando simulado.
- Parâmetros: Características ou atributos do sistema que têm só um valor em toda a simulação, mas podem mudar se alternativas diferentes são estudadas.
- Fatores exógenos: São parâmetros ou variáveis cujo o valor afeta o sistema mas não são afetados por ele.
- Fatores endógenos: São parâmetros ou variáveis que têm seu valor determinado pelo sistema, como é o caso dos resultados do modelo.

Para assegurar que os dados estejam disponíveis quando necessário, suas fontes devem ser localizadas e sua adequação, avaliada. Os dados são necessários para:

- (a) Estimar valores de constantes e parâmetros.
- (b) Fornecer valores iniciais às variáveis.
- (c) Comparar os resultados da simulação e validá-los.

Os métodos de coleta de dados são os mesmos utilizados em análise de sistemas convencionais. Entre eles, podemos citar: entrevistas, questionários, observações, amostragens e buscas em registros.

As execuções do modelo produzem as saídas ou resultados da simulação. Elas podem ocorrer em uma ou em diversas partes, dependendo do simulador e do modelo usado. Como resultado da execução, podem ser emitidos relatórios, traçado gráficos ou outra forma conveniente de exibição de dados.

Na análise dos resultados, o projetista e os usuários interpretam e estudam as saídas da simulação. Elas devem ser avaliadas em termos dos objetivos iniciais e das condições propostas pelas entradas. Neste ponto são feitas as validações dos resultados e análises de sensibilidade.

A modificação das entradas ocorre após a atuação humana na análise dos resultados. Nesta etapa, devem ser verificadas outras configurações e possíveis melhorias. Os passos 5, 6 e 7 são repetidos, constituindo-se nas interações da simulação e ocorrendo tantas vezes quantas forem necessárias para a otimização dos resultados.

A oitava e última etapa é a das decisões finais. Acontecem quando os resultados finais satisfazem as condições dos objetivos formulados.

As decisões decorrentes da simulação são normalmente parte integrante de outro processo maior de decisão, dependendo dos propósitos do projeto e da organização como um todo.

#### 4. FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO PARA REDES DE COMUNICAÇÃO

O projeto de redes de comunicação é uma tarefa árdua, requerendo do projetista o balanceamento das expectativas de performance do usuário com o custo dos recursos de rede, capacidades, e níveis de uso.

Operadoras de rede querem manter a utilização dos recursos alto e os custos baixo. Mas desta forma o projeto resultante poderia produzir níveis de serviço inaceitáveis quando canais congestionados e roteadores sub dimensionados começassem a descartar pacotes ou causar um tempo de resposta muito longo.

O projeto da rede deve usar os recursos de rede de modo eficiente e servir efetivamente seus usuários. Os softwares de simulação para redes de comunicação atualmente existentes são ferramentas poderosas que podem auxiliar eficientemente o projetista a produzir uma rede que atenda os níveis de serviço do usuário a curto e longo prazo dentro do menor custo. Estas ferramentas também podem ser utilizadas para o desenvolvimento de novos protocolos.

As redes são geralmente uma complicada mistura de aplicações, protocolos, periféricos e canais, fluxo de tráfego, e algoritmos de roteamento. Podem existir milhares de configurações possíveis entre estes componentes, cada uma com atributos de performance e custos diferentes. As ferramentas de simulação podem achar a combinação adequada para uma dada organização, porém, no meio de tantas ferramentas existentes, é importante usar a ferramenta correta.

Uma ferramenta de simulação para redes de comunicação ajuda os profissionais de tecnologia de informação a comparar características conflitantes, comportamentos, e milhares de alternativas de projeto possíveis. Ela pode ser usada para o projeto de uma rede nova ou para a manutenção ou resolução de problemas de uma rede existente. Na análise de acordos de níveis de serviço, a ferramenta permite analisar se propostas de upgrades na rede conseguem tratar as demandas antecipadas de tráfego sem violar os níveis de serviço. No projeto de infra estrutura ela permite a seleção de protocolos de redes cabeadas ou não. A ferramenta pode também ser conveniente para apresentação aos clientes nas respostas rápidas de questões do tipo "o que se". Finalmente, dependendo da ferramenta, podemos desenvolver protocolos novos e compará-los com os já existentes.

Quase todas as ferramentas de simulação para projeto de redes de comunicação trabalham da mesma maneira. O projetista utiliza um

editor gráfico para copiar e colar objetos na modificação ou criação de uma topologia de rede ou importar a topologia diretamente de uma ferramenta de gerenciamento do tipo igual ao HP Open View. A maioria das ferramentas possui uma extensa biblioteca contendo modelos de canais e periféricos, de tal forma que a modelagem de uma rede local Ethernet, ou backbone IP seja fácil. O projetista deve especificar ou confirmar os atributos de cada periférico, canal, ou aplicação tais como taxa de bit, carga de tráfego, throughput do periférico (em bits ou pacotes por segundo), taxa entre chegadas e tamanho de transação, protocolos de camadas físicas, enlace, rede, transporte e aplicação. Sua próxima tarefa é simular a operação da rede. Os tempos de execução da simulação variam desde vários minutos a vários dias, dependendo do nível exatidão e detalhes nos resultados.

A maioria das ferramentas pode mostrar resultados graficamente durante ou no final da simulação e muitos usam animação durante o curso da simulação para indicar os fluxos de tráfego e congestionamento.

Quase todas as ferramentas podem resumir episódios de congestão na rede, carga, perda de pacotes, falhas, condições de erro e tempo de resposta.

As ferramentas de simulação de redes existentes, tem a capacidade de avaliar diferentes cenários. Por exemplo, suponha a avaliação do comportamento da carga de tráfego em resposta ao uso de três diferentes protocolos de roteamento sobre uma porção de uma rede de longa distância existente (WAN). A figura 4.1 mostra como uma ferramenta representa a rede como um conjunto de roteadores de backbone IP interconectados. Cada um deles roteando tráfego de e para uma ou mais subredes abstratas. Neste exemplo, o "*Border Gateway Protocol (BGP)*" gera menos tráfego de roteamento que o protocolo "*Open-Shortest-Path-First (OSPF)*," e ambos geram bem menos tráfego que o "*Routing Information Protocol (RIP)*." Configurar os três cenários neste exemplo pode ser tão simples quanto selecionar um valor diferente para o atributo de protocolo de roteamento de um menu gráfico.

Ferramentas de projeto de rede que permitem avaliar uma grande quantidade de parâmetros (quantitativa), produzem resultados mais precisos que métodos isolados ou manuais de fabricantes. No exemplo acima a operadora da rede poderia esperar que o BGP e o OSPF gerassem menos tráfego de roteamento que o RIP, mas não poderiam prever a performance relativa de OSPF e BGP para esta topologia específica. As ferramentas de simulação de rede são também valiosas

para prever problemas de performance ao invés de somente corrigi-los quando eles aparecem.

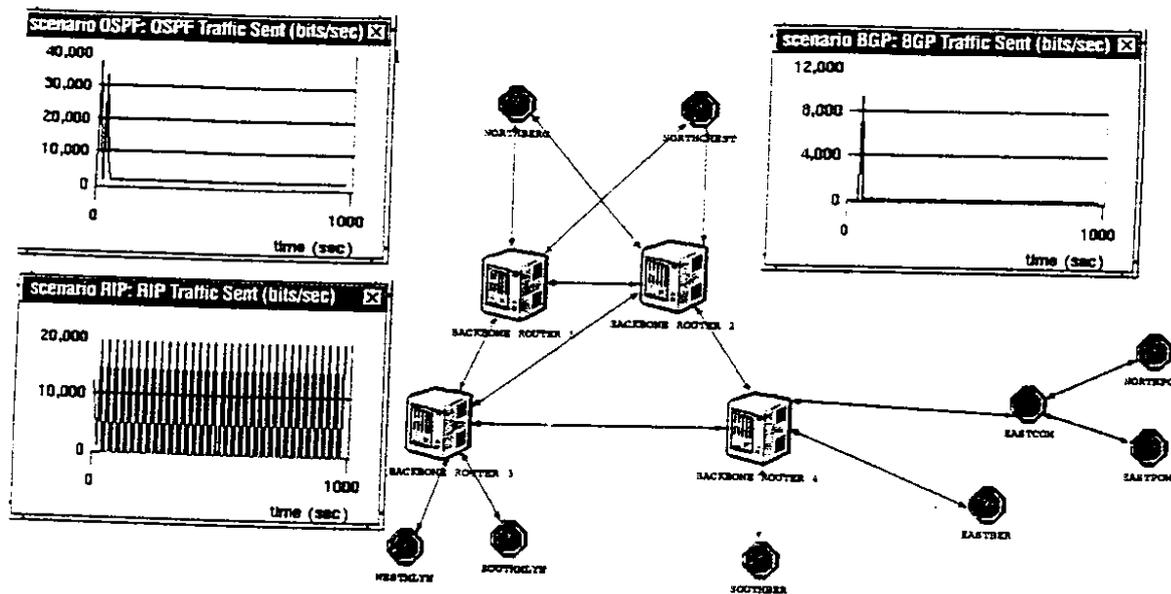


Fig. 4-1: IT DecisionGuru da Opnet Technologies representando um backbone IP de rede interconectado via roteadores.

No projeto de redes de comunicação, a simulação somente não é a solução. Várias ferramentas confiam parcialmente ou somente em análise matemática e teoria das filas [10.22]. Como discutido na seção 3, as ferramentas analíticas fornecem soluções mais rápidas que a simulação porém nem sempre obtém a exatidão necessária nos resultados.

#### 4.1 A FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO IDEAL

A ferramenta ideal de projeto de rede pode ter o significado diferente dependendo do tipo de profissional envolvido. Porém projetistas de rede, gerentes ou engenheiros de rede, gerentes de vendas ou propaganda, ou membros do grupo de pesquisa e desenvolvimento requerem ferramentas gráficas.

Distâncias são importantes em LANs e WANs, portanto as ferramentas devem reconhecer e compensar as escalas definidas pelo usuário. Dependendo da posição do usuário, conceitos sobre a ferramenta ideal para o projeto de redes de comunicação pode variar grandemente. A seguir discutimos as qualidades necessárias para uma ferramenta de simulação a ser usada por projetistas de rede e pesquisadores.

#### **4.1.1 PROJETISTAS DE REDES DE COMUNICAÇÕES**

Este profissional especifica e implementa novas redes ou examina e corrige a performance de redes existentes. A tentativa é reduzir o tempo de projeto e melhorar a sua exatidão. É desejado que os requerimentos de performance sejam alcançados sem sobre dimensionar a rede e que os gargalos e sobrecargas sejam identificados.

Os projetistas necessitam de uma biblioteca extensiva sobre tecnologias de enlace, periféricos, arquiteturas e protocolos para projetar, corrigir ou expandir a rede. A ferramenta usada deve prever a performance do sistema estudado com razoável exatidão.

#### **4.1.2 PESQUISADORES**

Para reduzir os custos de desenvolvimento e riscos, o teste dos efeitos de novos ou modificados protocolos, periféricos, arquiteturas, e modelos de tráfego devem ser feito em laboratório. É necessário controle absoluto do comportamento simulado a nível de linguagem de programação. A ferramenta ou linguagem deve oferecer um rico conjunto de funções para modelar situações específicas. Tipicamente a simulação discreta é utilizada onde a interação dinâmica dos componentes do sistema copiam o comportamento que a rede teria numa situação real. É preferível que os resultados da simulação sejam obtidos com exatidão ao invés de rapidez.

#### **4.2 POTENCIALIDADES DE FERRAMENTAS GENÉRICAS**

Muito dos problemas de projeto de rede são relativamente fáceis de resolver. Quase todas as ferramentas de simulação no mercado irão oferecer os seguintes recursos para a sua resolução.

- Modela segmentos e comportamentos de tráfego de LAN, frame relay, IP, X-25, e asynchronous transfer mode (ATM) usando modelos armazenados em biblioteca.
- Preve utilização e throughput de enlaces e periféricos.
- Mostra quais enlaces e periféricos estão sobre ou sub utilizados.
- Mostra como cargas desbalanceadas afetam os enlaces e periféricos.
- Mostra os efeitos de falha de canais ou periféricos.

- Mostra como mudanças na topologia, upgrade de periférico, ou expansão afetara o desempenho.
- Identifica as aplicações ou protocolos que estão causando mais intensamente a congestão ou o atraso no tempo de resposta da rede.
- Confirma que acordo de nível de serviço pode ou não ser satisfeitos.
- Prevê o tempo de resposta de aplicações antes de usá-las.
- Prevê onde os gargalos e os atrasos no tempo de resposta irão primeiro aparecer na rede.
- Prevê quantos usuários uma aplicação pode tratar.
- Apresenta resultados via barras de utilização animada, gráficos estatísticos *on-line*, diagramas, relatórios e gráficos.

Alguns dos problemas mais comuns resolvidos por estas ferramentas são listados abaixo.

**Determina a melhor relação custo-desempenho.** Vamos dizer que o problema é determinar que periférico, tecnologias de LAN ou WAN, ou protocolos de roteamento proporcionam a melhor performance no menor custo. Explorar alternativas é fácil, porém o projetista necessita especificar os cenários e avaliar os custos e resultados, geralmente um por um. Algumas ferramentas geram uma lista de materiais para os periféricos de rede. Porém poucas ferramentas se preocupam com o custo de comunicação. Estimar custos de comunicação é complexo porque as tarifas variam amplamente de acordo com a localização e tipo de serviço, por exemplo linhas alugadas versus frame relay.

**Fornece soluções exatas em segundos.** A velocidade de execução geralmente é inversamente proporcional a exatidão dos resultados em um modelo. A velocidade é proveniente de altos níveis de abstração, como quando uma ferramenta modela uma extensa WAN como uma nuvem gerando um agregado de fluxo de tráfego. Para testar um novo componente ou protocolo, necessitamos simular cada pacote passando através do componente. Algumas ferramentas proporcionam a capacidade de simular parte da rede em detalhes, enquanto outras partes menos importante podem ser modeladas como agregados de tráfego. Uma decisão difícil é determinar quanta exatidão deve ser sacrificada pelo ganho em velocidade na simulação.

**Modela realisticamente uma rede existente.** Modelar uma rede existente de forma realística pode ser uma tarefa muito árdua caso cada periférico, canal, e carga de tráfego devam ser configurados manualmente. A maioria das ferramentas de simulação de redes de comunicação podem importar uma topologia de rede de uma ferramenta de gerenciamento de redes igual ao HP Open View, ou

descobrir e importar a topologia via uma ferramenta baseada no *Simple Network Management Protocol (SNMP)*. Algumas ferramentas importam dados de tráfego ou registros de um periférico que monitora e caracteriza o tráfego passando sobre um canal de comunicação (*sniffer*). Poucas ferramentas possuem banco de dados com milhares de periféricos de voz, vídeo e dado, que podem ser copiados e usados nas janelas de projeto. Capturar o comportamento de tráfego é normalmente mais importante que modelar periféricos em minutos. Caso seja necessário importar registros de tráfego ou topologia, tenha certeza de que a ferramenta sendo utilizada pode fazer isto.

**Testa a rede com carga pesada.** Testes com carga pesada significa atingir níveis de utilização acima de 90 por cento. As simulações feitas nestas condições são muito longas porém além de precisas apresentam resultados valiosos. Poderíamos por exemplo simular o comportamento de como protocolos como o TCP/IP respondem a perda de pacotes em altas taxas de utilização na rede.

**Proporciona nível de detalhamento.** Ferramentas de simulação poderosas tem a habilidade de configurar precisamente a rede ou padronizar o comportamento de protocolos e periféricos para uma dada situação. Algumas ferramentas oferecem versões mais poderosas para projetistas e pesquisadores e versões mais simples e baratas para tarefas menos precisas. Nestas últimas, geralmente não existe um nível de detalhamento tão grande e alguns atributos como velocidade de canal já vem configurado.

**Confirma se periféricos estão conectados corretamente.** A maioria das ferramentas asseguram que periféricos e canais estão conectados corretamente, e algumas geram uma advertência se, por exemplo, um roteador não é compatível com o canal óptico com o qual ele está conectado. Porém poucas ferramentas confirmam que as LANs estão dentro de seus comprimentos máximos e que a rede corretamente compensa para atrasos sobre redes de longa distância. Por exemplo, é um erro uma ferramenta determinar tempo de propagação zero sobre um canal Curitiba-São Paulo.

**Fornece resultados estatísticos.** A maioria das ferramentas simplesmente computam tempos e utilizações médias. Porém as ferramentas mais poderosas possuem a capacidade de determinar por exemplo qual foi a utilização máxima de um canal durante seu período de observação, e o quanto de tráfego que houve em excesso para que o tempo de resposta máximo prometido ao usuário pelo acordo de nível de serviço fosse violado.

### 4.3 FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO DE MERCADO

A seguir iremos descrever algumas ferramentas de simulação de sistemas de comunicação existentes no mercado.

#### NetRule e NetRule Viewer da Analytical Engines

A Analytical Engines faz propaganda do NetRule (<http://www.netrule.com>) como uma ferramenta analítica para planejar mudanças em redes de comunicações. A empresa claramente afirma que NetRule é uma ferramenta de nível médio a ser usada para resolução de problemas práticos de otimização do sistema e não indicada para pesquisadores e desenvolvedores de novos protocolos ou componentes de rede. A empresa desenvolveu esta ferramenta para ser usada por engenheiros de redes envolvidos com o planejamento de sistemas de comunicação. A figura 4.2 mostra os componentes disponíveis para projetar uma WAN via NetRule.

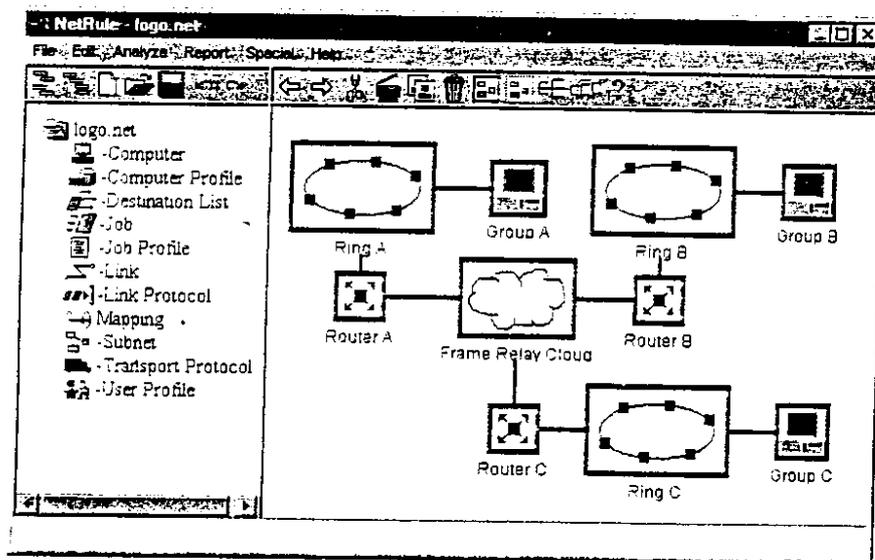


Fig. 4.2: Modelando uma WAN via NetRule.

NetRule é escrito em Java e roda em outras plataformas que possuam máquinas virtuais Java. Ela utiliza métodos analíticos ao invés de

simulação discreta de eventos, portanto podemos avaliar os modelos em segundos. Os desenvolvedores de NetRule acreditam que a simulação é muito complexa, muito lenta, e muito cara para o planejamento prático de rede. A máquina analítica usa modelagem matemática e teoria das filas. A propaganda mostra que o tempo de avaliação de uma rede raramente excede a 10 segundos, mesmo que ela seja uma WAN (com 1000 a 10000 nós), porque o tempo de execução do modelo não depende do número de pacotes transitando pela rede.

NetRule Viewer permite ao projetista acesso somente de leitura aos resultados de modelagem da rede.

### **COMNET III, EcoPredictor e EcoProfiler da Compuware**

A Compuware (<http://www.compuware.com>) adquiriu várias ferramentas excelentes da CACI International em 1999. Duas delas são produtos maduro e com extensas bases instaladas. COMNET III é um software de alto nível para projeto de redes de comunicação e que usa a ferramenta de simulação discreta de eventos. Projetistas podem criar modelos de rede hierárquica usando a cópia e colagem de objetos em forma de ícones disponíveis numa barra de ferramentas na tela do computador, ou podem importar a topologia e o tráfego de dado de várias ferramentas de gerenciamento. COMNET III está totalmente integrada com outras ferramentas da Compuware e possui uma extensa biblioteca de periféricos e protocolos incluindo tráfego em circuito comutado (dado, voz, vídeo), aplicações distribuídas, redes cabeadas ou não.

EcoPredictor é uma ferramenta de planejamento de capacidade de nível médio. Compuware lança a ferramenta como rápida, fácil de usar, e projetada para o uso diário. As mais interessantes características da ferramenta são relatórios e alarmes que identificam os componentes de rede que mais contribuem para uma situação de congestionamento. Ela também localiza gargalos e excessos de capacidade. EcoPredictor pode importar dados de ferramentas de gerenciamento e monitoração de vários fabricantes e, se o usuário requisitar maior precisão, exportar topologias diretamente ao COMNET III.

EcoProfiler é uma ferramenta especializada em analisar os efeitos do uso de novas aplicações sobre a performance da rede ou de como a adição de novos usuários ou upgrades de rede podem afetar a performance de aplicações existentes.

## NetCracker Designer e NetCracker Professional da NetCracker Technology

A NetCracker Technology (<http://www.netcracker.com>) possui 2 produtos para projeto de sistemas de comunicação: NetCracker Designer e NetCracker Professional. O NetCracker Designer é uma ferramenta de baixo custo simples, voltada para o projeto, verificação, documentação e visualmente analisar redes de comunicação via simulação. Ela pode importar topologias do Visio e Open View, e automaticamente confirmar a conectividade e compatibilidade de periférico. O NetCracker Designer suporta as redes, protocolos e medias mais comum. Seu recurso mais interessante é um banco de dados com mais de 25000 periféricos de rede. Cada periférico possui uma série de atributos como: meio físico suportado, protocolo, configuração de port, tempo de latencia, largura de banda, preço, etc. O NetCracker Designer pode usar a topologia da rede e banco de dados de periférico para gerar um lista de preço de materiais.

O NetCracker Designer simula fluxos estáticos de tráfego via animação más não analisa a performance. O NetCracker Professional lê os arquivos do NetCracker Designer, simula o comportamento e a performance, e gera relatórios, diagramas, e gráficos dinâmicos online, como mostrado na figura 4.3. As animações apresentam gráficos mostrando utilização, perda de pacotes, carga, e outros atributos de performance. Os tipos de tráfego podem ser especificados de várias maneiras, incluindo por tipo de aplicação.

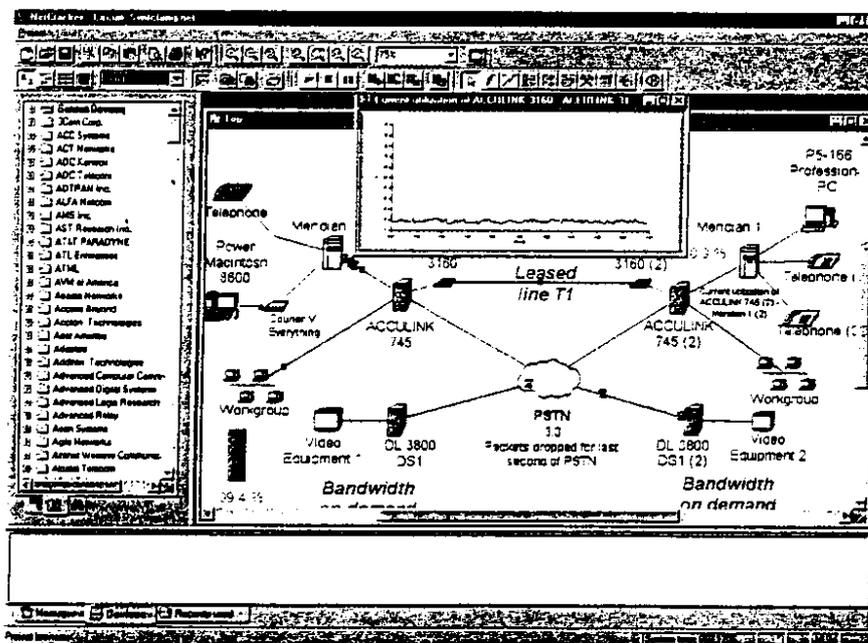


Fig. 4.3: Modelando uma rede de comutação de circuitos via NetCracker Professional.

## Modeler, IT Decision-Guru, e Netbiz da Opnet Technologies

Opnet Technologies (<http://www.opnet.com>) também tem uma família de ferramentas maduras e uma grande quantidade de bases instaladas em clientes. Modeler é a ferramenta mais cara, de alto nível, usada principalmente por pesquisadores e desenvolvedores de componentes de redes de comunicação. Ele pode modelar protocolos, periféricos e comportamentos, de forma precisa, usando um modelo de máquina de estado finito, linguagem C/C++, e cerca de 400 funções especiais direcionadas a modelagem de sistemas. Modeler possui módulos opcionais para: modelagem de sistemas de radio e satélite, importar modelos de outros fabricantes, previsão de níveis de serviço. Originalmente Modeler é um simulador discreto de eventos, porém também suporta simulações híbridas que combinam simulação discreta de eventos e modelagem analítica. Ele também pode executar a simulação de um modelo em paralelo, sobre várias CPUs ao mesmo tempo. Simulações híbridas e paralelas podem reduzir intensamente o tempo de execução das simulações.

IT DecisionGuru é uma ferramenta analítica de nível médio direcionada a gerentes e projetistas de rede. Openet Technologies anuncia que ela é de fácil manejo e aprendizado. IT DecisionGuru compartilha toda a vasta biblioteca de periféricos e protocolos do Modeler. Opnet Technologies desenvolveu esta ferramenta em conjunto com a HP no sentido de prover esta ferramenta com a capacidade de registrar o comportamento de aplicações e fluxo de pacotes. IP DecisionGuru pode também prever e mostrar o impacto de mudanças no acordo de nível de serviço.

Netbiz é direcionado para o pessoal de vendas de serviços ou equipamentos de redes de comunicação. Ele fornece um ambiente básico para o projeto de redes tradicionais e possui excelentes funções para configuração e apresentação de topologias de redes de comunicação.

A figura 4.4 mostra uma síntese de algumas das principais ferramentas de simulação de sistemas de comunicação existentes no mercado e o respectivo nível de sua aplicação.



#### 4.4.1 SUPERVISÃO E GERENCIAMENTO DE SISTEMAS

Em nosso estudo relacionamos as ferramentas abaixo que são direcionadas especificamente para profissionais ligados a supervisão e o gerenciamento de sistemas de comunicação.

**Mimic (Gambit Communications, <http://www.gambitcomm.com>):** Ferramenta baseada no protocolo SNMP direcionada a usuários e desenvolvedores de gerenciamento de rede.

**Chariot, Pegasus (Ganymede Software, <http://www.ganymede.com>):** Ferramenta direcionada ao gerenciamento, teste, monitoração e resolução de problemas de performance em redes.

**NetClarity (LANQuest, <http://www.lanquest.com>):** Ferramenta de diagnóstico e gerenciamento de desempenho de sistemas de comunicação direcionada para o balanceamento de fluxo, planejamento de capacidade e gerenciamento de níveis de serviço.

**NetMaker (Make Systems, <http://www.makesystems.com>):** Usada em planejamento, engenharia e análise de carga em sistemas de comunicação.

**Link Analyst (Network Instruments, <http://www.networkinstruments.com>):** Realiza mapeamento gráfico do sistema, análise de rota, gerenciamento de qualidade de serviço, análise de problemas, monitoramento on-line do sistema de comunicação.

**NetSpec (University of Kansas, <http://www.itc.ukans.edu/netspec>):** Ferramenta de geração de tráfego para teste de sistemas de comunicação.

#### 4.4.2 SERVIÇOS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO

A seguir, mostramos uma relação de ferramentas que podem ser utilizadas na análise de desempenho de negócios e aplicações na área de sistemas de comunicação.

**Total Control (Lightspeed Systems, <http://www.lightspeedsystems.com>):** Carga de tráfego, qualidade de serviço, firewall, e controle e monitoração de servidor.

**VitalSuite 7 (Lucent Technologies, <http://www.ins.com>):** Fornece dados e relatórios *on-line* sobre o desempenho de aplicações e dos negócios.

**S3 (NextPoint Networks, <http://www.nextpoint.com>):** Gerencia redes de comunicação, comércio eletrônico, serviços IP, e aplicações projetadas para suportar os objetivos de negócio da empresa.

**Application Expert (Optimal Networks, <http://www.optimal.com>):** Usado para visualizar, reportar, e afinar aplicações de comércio eletrônico sobre uma WAN.

**WebLoad (RadView Software, <http://www.radview.com>):** Usado para simular e confirmar tráfego do mundo real e testar o desempenho de aplicações da WEB e seus requerimentos de escalabilidade.

#### 4.4.3 PESQUISA E APLICAÇÕES ESPECIAIS

Finalmente, relacionamos algumas ferramentas que podem ser utilizadas na área de pesquisa e desenvolvimento de aplicações especiais em sistemas de comunicação.

**SystemView (Elanix, <http://www.elanix.com>):** Projeto e simulação analógica de sistemas de comunicação cabeados e não cabeados (celular, satélite).

**Odyssey (Lógica, <http://www.logica.com/offerings/>):** Ferramenta de projeto para redes baseadas em tecnologia de radio.

**Visio 2000 (Microsoft, <http://www.microsoft.com/office/visio>):** Ferramenta usada para desenho de componentes de rede.

**Simulink (The MathWorks, <http://www.mathworks.com>):** Usado para o processamento digital de sinal e projeto de componente de sistema de controle.

**Telsoft (Telsoft International, <http://www.telsoft.com>):** Obter e apresentar atividades de rede em tempo real como: tráfego, e dados de roteamento.

**VPI Suite (Virtual Photonics, <http://www.virtualphotonics.com>):** Ferramenta destinada ao projeto de largura de banda para componentes de camada física, e redes de acesso e transporte.

**NetSuite (Visionael, <http://www.netsuite.com>):** Descoberta, validação, e projeto de redes de comunicação complexas.

**VisSim (Visual Solutions, <http://www.vissim.com>):** Modelagem e simulação analógica de componentes e sistemas de comunicação.

**NPAT - Network Planning and Analysis Tool (WANDL - Wide Area Network Design Laboratory, <http://www.wandl.com>):** Ferramentas de alto nível para o projeto de protocolos de sistemas de comunicação, planejamento de capacidade, análise de falhas e gerenciamento de sistemas de comunicação.

**PUNCH (Portal WEB, <http://www.ece.purdue.edu/punch>):** Portal WEB que libera gratuitamente ferramentas destinadas ao projeto de componentes de sistemas de comunicação via internet. Pode ser usado também para fins educacionais e de pesquisa [09].

Na próxima seção iremos discutir sobre o que se espera de uma ferramenta de simulação discreta quando utilizada por pessoal de vendas, engenheiro ou gerente de rede, projetista de rede e pesquisador. Mostramos também se a característica apresentada é comum ou não nas ferramentas hoje disponíveis.

#### **4.5 DEFININDO NECESSIDADES**

Na tabela 4.1, listamos várias características que podem ajudar a selecionar o tipo de ferramenta de simulação discreta para o projeto de sistemas de comunicação de acordo com a necessidade do profissional envolvido. A tabela também indica se a característica listada é comum ou não de ser encontrada nos pacotes disponíveis. Uma tabela mais extensa pode ser obtida de em <http://www.computer.org/it2000/pdf/f5023x1.pdf> no *WEB site do jornal IT Pro*.



Na seção seguinte apresentamos 2 estudos de caso que ilustram a utilização da ferramenta de modelagem de sistemas de comunicação via simulação discreta intitulada COMNET III.

#### **4.6 ESTUDO DE CASOS USANDO SIMULAÇÃO**

Nesta seção são apresentados dois estudos de caso. Procuramos direcionar o primeiro estudo na resolução de um problema de gerenciamento de rede no qual a rede já existe e o engenheiro ou o gerente de rede utiliza a ferramenta para solucionar problemas de desempenho em seu sistema. No caso 1 mostramos com detalhes os passos seguidos para a modelagem da rede via COMNET III para que o leitor possa ter uma idéia dos recursos da ferramenta. No segundo estudo enfocamos o aspecto de projeto de rede de comunicação. Neste caso a rede é inexistente e o projetista pesquisa uma solução de tecnologia de menor relação custo benefício. Neste estudo deixamos de mostrar os detalhes de modelagem via COMNET III ao leitor para não sobrecarregar demais este trabalho.

##### **4.6.1 ESTUDO DE CASO 1**

Uma companhia possui uma LAN constituída por duas sub redes. Cada sub rede serve um departamento. Uma sub rede é configurada de acordo com o padrão IEEE 802.3, Ethernet CSMA/CD 10BaseT. A outra sub rede é configurada de acordo com o padrão IEEE 802.5, padrão Token Ring a 16 Mbps. As duas sub redes estão conectadas via um roteador V12.0 Proteon CNX500.

A LAN ethernet suporta 10 computadores, um dos quais esta designado como o servidor de correio eletrônico para ambos os departamentos. A LAN token ring também suporta 10 computadores, sendo que um deles é o servidor de arquivos para ambos os departamentos.

Atualmente a companhia esta considerando contratar pessoal para ambos os departamentos. Por outro lado, uma questão é se a configuração de rede atual será hábil a suportar pessoal adicional pois a companhia atualmente não possui nenhum método para medir a utilização da rede ou o seu tempo de resposta.

A companhia espera estimar os níveis básicos de valores atuais antes de contratar qualquer pessoal. Também, existem reclamações recentes de seus empregados em ambos os departamentos que dizem respeito aos altos tempos de resposta de rede quando eles tentam receber um arquivo do servidor de arquivos.

Uma estimativa de tráfego comum que flui através das 2 LANs indica que a maioria do tráfego é proveniente de e-mail, transferência de arquivos de várias aplicações, e um

sistema de correio de voz para LAN que permite aos supervisores transmitirem mensagens de correio de voz ao pessoal de seu próprio departamento sobre a LAN.

Entrevistas com os empregados em cada departamento, e estimativas de tamanho comum de mensagens transmitidas sobre a LAN foram usadas para estatisticamente descrever as características da mensagem.

Vale salientar que o COMNET III possui a capacidade de utilizar modelo de tráfego real colhido via ferramenta de gerenciamento de rede, analisador de protocolos ou sniffers. Neste caso, com a finalidade de simplificar nosso estudo, não utilizamos este artifício.

E-mail é usado por todo o pessoal em ambos os departamentos. O resultado da entrevista de todo o pessoal indicou que a transmissão de uma mensagem de correio eletrônico ocorre numa taxa média entre chegadas (interarrival rate) a qual pode ser descrita por uma distribuição exponencial que tem uma média de 900 segundos.

O tamanho das mensagens de correio eletrônico pode ser descrito por uma distribuição uniforme onde o tamanho está eventualmente disperso sobre a variação de 500 a 2000 bytes.

Todas as mensagens de e-mail são transmitidas para o servidor de e-mail localizado sobre a LAN ethernet onde elas são salvas em cada caixa postal do usuário (conta).

Para ler o e-mail o empregado deve transmitir uma requisição ao servidor de e-mail para carregar as mensagens para seu computador. O tempo entre chegadas para a checagem de e-mail pode ser descrito por uma distribuição de Poisson com uma média de 900 segundos.

Cada requisição tem um tamanho médio de 60 bytes. No recebimento de um pedido de carga de e-mail da caixa postal do empregado, o servidor de e-mail lê a caixa postal (arquivo) do empregado e transmite as mensagens ao computador do empregado. A quantidade de tempo necessária para ler a caixa postal e processar as mensagens sobre o servidor pode ser descrita por uma distribuição uniforme que varia de 3 a 5 segundos.

O tamanho das mensagens de e-mail transmitidas pelo servidor pode ser descrita por uma distribuição Normal que tem uma média de 40000 bytes e um desvio padrão de 10000 bytes.

Existem 8 empregados em cada departamento que possui seu próprio computador e também gera tráfego devido a requisições para arquivos no servidor de arquivos. As requisições de arquivos podem ser descritas por uma distribuição exponencial com uma média de 900 segundos. O tamanho das requisições de arquivos variam de acordo com uma distribuição uniforme que varia desde 10 a 20 bytes em comprimento.

Todas os pedidos de arquivos são transmitidos exclusivamente para o servidor de arquivos localizado na rede token ring. No recebimento de um pedido de arquivo, o servidor de arquivos lê o arquivo e o transmite ao computador que fez o pedido. Existe um pequeno retardo neste processo (delay). O tamanho dos arquivos a serem transferidos podem ser

descritos por uma distribuição normal que possui uma média de 100000 bytes e um desvio padrão de 25000 bytes.

A aplicação de correio com voz na LAN é usada somente pelos supervisores de cada departamento. Os supervisores geralmente transmitem correio de voz somente para o pessoal dentro de seu próprio departamento. Esta aplicação primeiro estabelece uma sessão com o computador pertencente a pessoa a qual a mensagem deve ser transmitida. No recebimento da confirmação de que uma sessão foi estabelecida, a mensagem de correio de voz é transmitida. O tamanho destas mensagens pode ser caracterizado por uma distribuição Normal com uma média de 50000 bytes e um desvio padrão de 1200 bytes. O tempo entre chegadas desta mensagem pode também ser descrito por uma distribuição normal com uma média de 1000 segundos e um desvio padrão de 10 segundos.

Como uma nota final, todos os geradores de mensagens que serão definidos usam TCP/IP como protocolo de transporte/rede e foi estimado que gastam um tempo para empacotamento (packetizing delay) de 0,01 milissegundos.

### **Resolução:**

#### **A) Construção do modelo de rede .**

##### **A.1) Construir a topologia da rede (ver figura 4.5).**

- a) Criar os enlaces ethernet e token ring.
- b) Editar os campos para os enlaces ethernet.
- c) Editar os campos dos enlaces token ring
- d) Criar um nó roteador e colocar ele entre as duas sub-redes.
- e) Criar 4 nós de comunicação (C&C).
- f) Escolher os parâmetros de Grupo de computador do menu *Define*.
- g) Criar 2 grupos de nós de computadores na área de trabalho.

#### **B) Definir as fontes de tráfego que irão gerar a carga na rede.**

**B.1) Fonte de Mensagem de E-Mail (ver a figura 4.6):** usado para modelar o transporte de mensagens de e-mail dos nós da rede para o servidor de e-mail.

- a) Criar uma fonte de mensagem e ligar ela ao nó ETHER PC1.
- b) Editar a fonte de mensagem
  - Nome: E-MAIL
  - Schedule by: Iteration time.
  - Interarrival: Distribuição exponencial, 900 s de média. Número de cadeia aleatória: 0 a 99.
  - Prioridade: 1
  - Classe de roteamento: padrão
  - Protocolo de transporte: TCP/IP - Microsoft

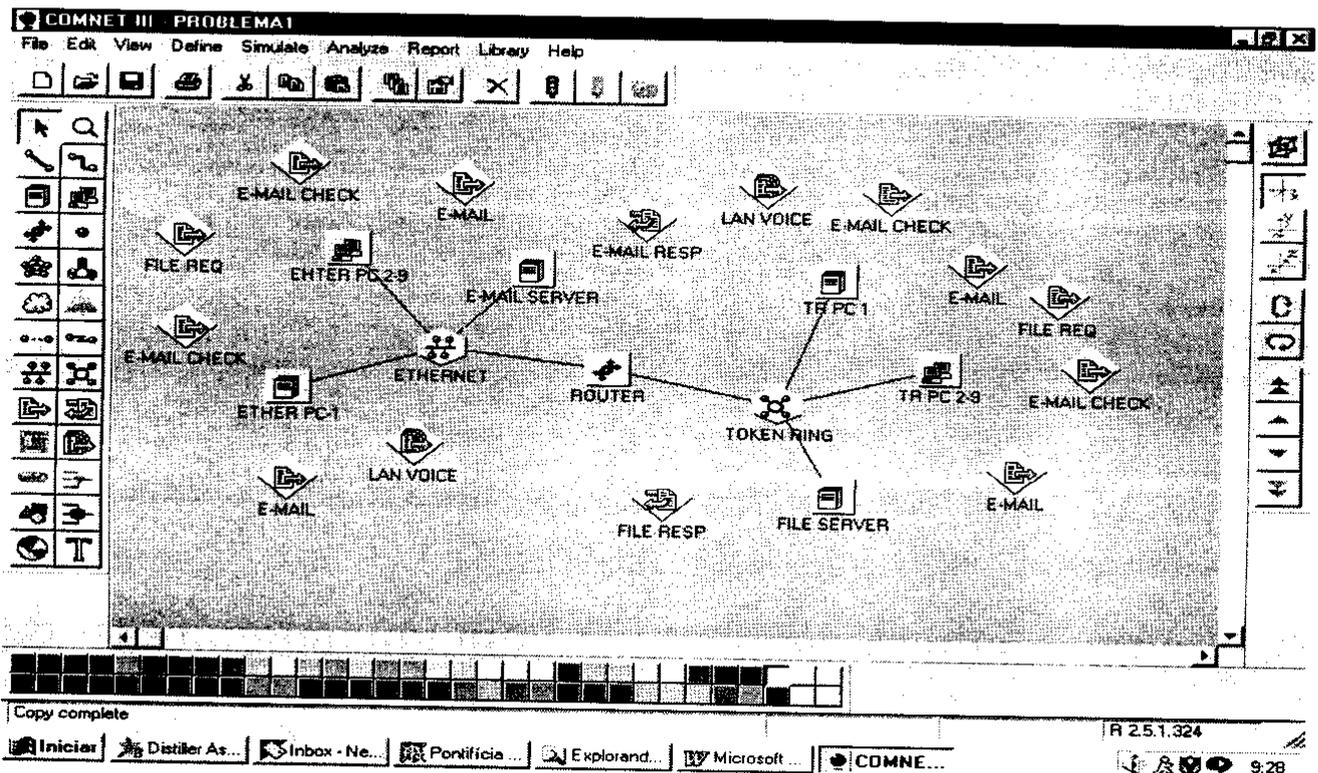


Fig. 4.5: Topologia do modelo de rede descrito.

- Packetize: 0,01 ms
  - Message Size Calculation: Probability distribution
  - Cálculo do tamanho da mensagem: distribuição uniforme: 500 bytes a 2000 bytes. Número de cadeia aleatória: 0 a 99.
  - Message text option: Copy message name.
  - Destination type: configure uma lista de pesos. Crie a lista contendo somente o destino: E-mail Server
- c) Criar três clones de fonte de mensagem de correio eletrônico (E-MAIL).
- d) Ligar uma cópia da fonte de correio eletrônica ao ETHER PC 2-9, TR PC 1, e TR PC 2-9.

**B.2 Fonte de Mensagem de Check de Correio Eletrônico:** é usado para checks periódicos pelos usuários sobre a rede ao servidor de correio eletrônico para carregar suas mensagens.

- a) Criar a fonte de mensagem e ligar ela ao nó ETHER PC1.
- b) Editar a fonte de mensagem
- Nome: E-MAIL CHECK
  - Schedule by: Iteration time.

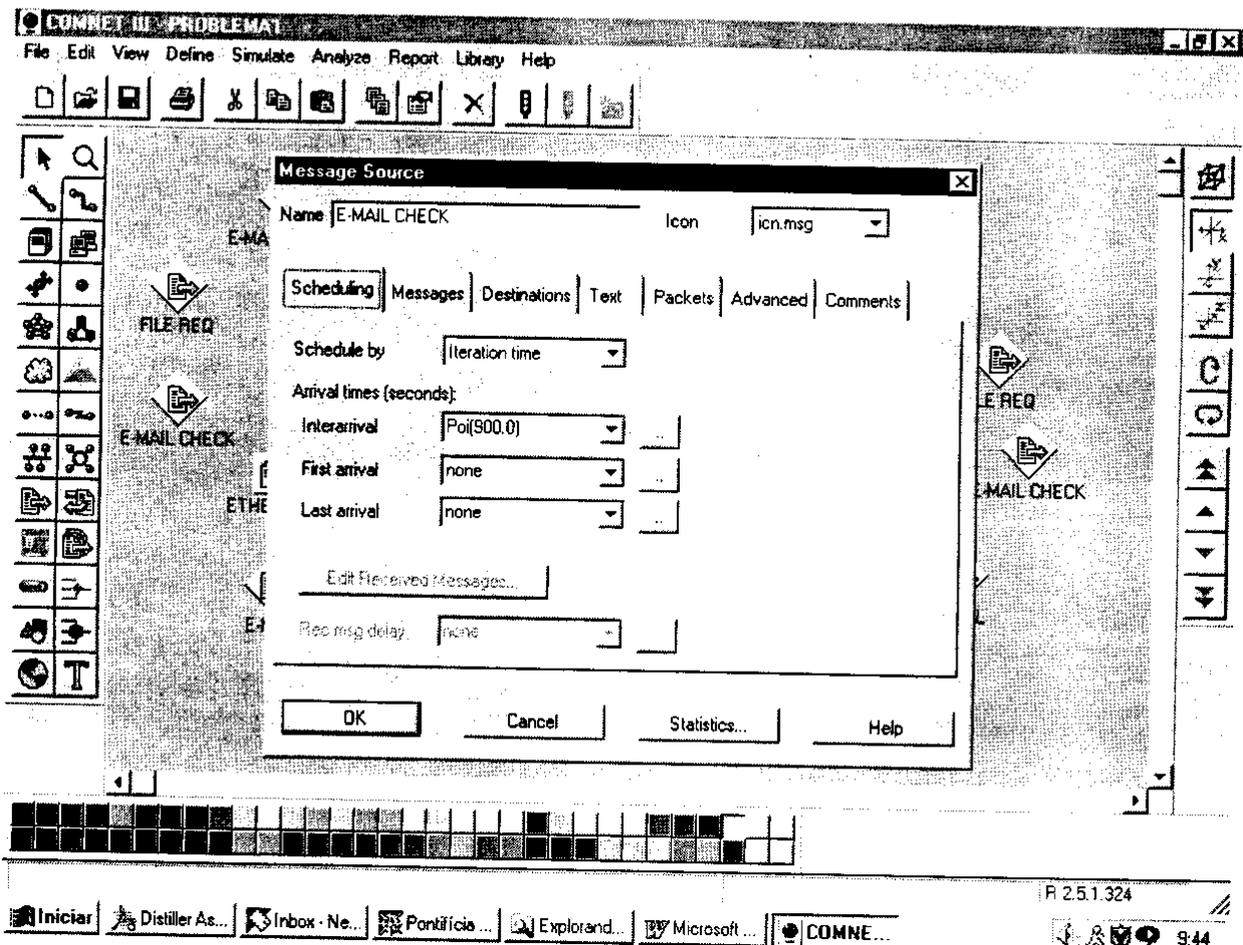


Fig. 4.6: Fonte de mensagem de E-Mail.

- Interarrival: Distribuição de Poisson, 900 s de média. Número de cadeia aleatória: 0 a 99.
  - Priority: 1
  - Classe de roteamento: padrão
  - Protocolo de transporte: TCP/IP - Microsoft
  - Packetize: 0,01 ms
  - Message Size Calculation: Probability distribution
  - Cálculo do tamanho da mensagem: tamanho constante de 60 bytes.
  - Message text option: Copy message name.
  - Destination type: configure uma lista com pesos. Crie a lista contendo somente o destino: E-mail Server
- c) Criar três clones de fonte de mensagem de check de correio eletrônico (E-MAIL CHECK).
- d) Ligar uma cópia da fonte de check de correio eletrônica E-MAIL CHECK ao ETHER PC 2-9, TR PC 1, e TR PC 2-9.

**B.3 Fonte de Mensagem de Resposta de Correio Eletrônico (ver figura 4.7):** é usado para modelar a carga e o transporte de tráfego de correio do servidor de correio eletrônico.

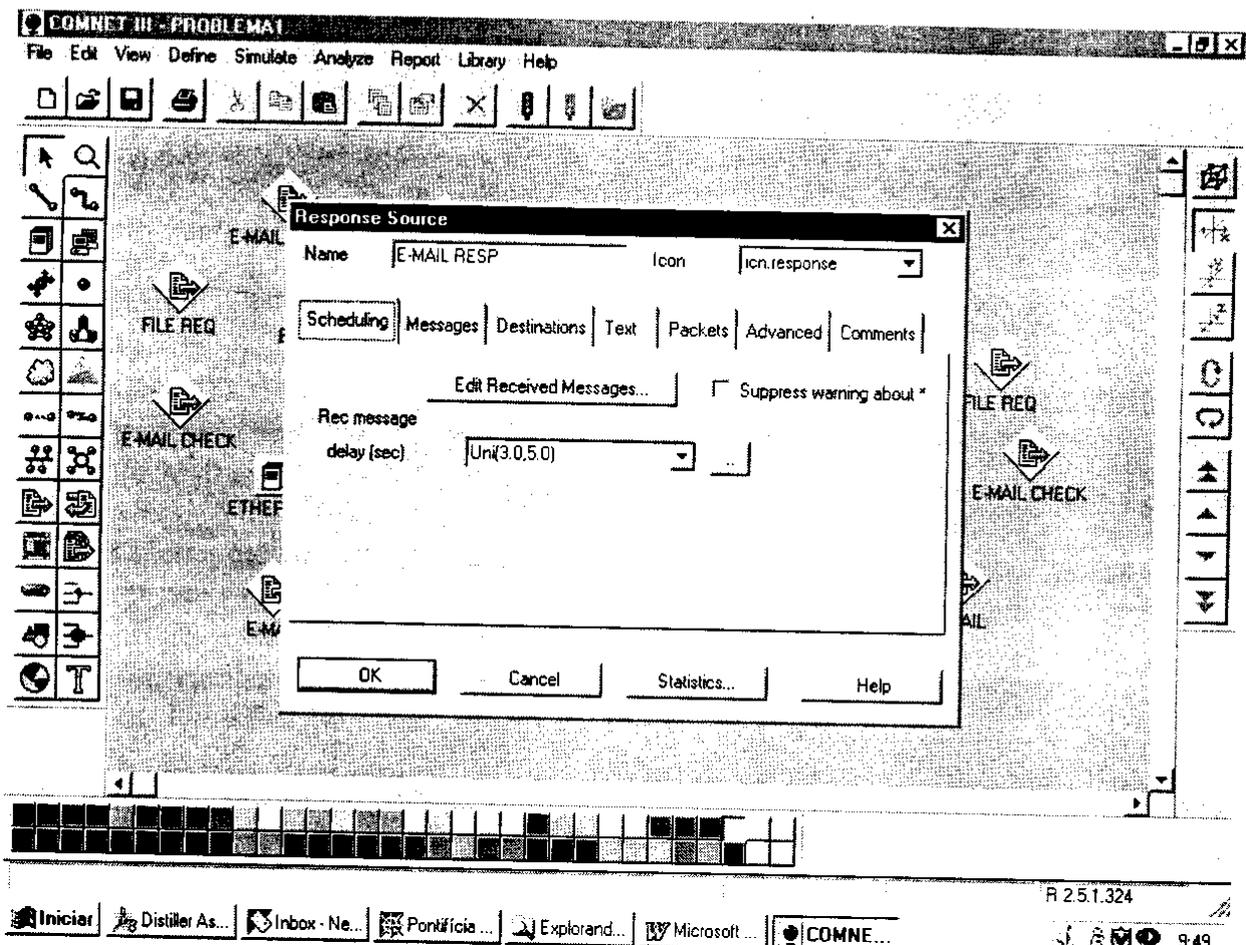


Fig. 4.7: Fonte de resposta de E-mail.

- a) Criar a fonte de resposta de correio eletrônico e ligar ela ao nó Servidor de Correio Eletrônico (E-MAIL-SERVER)
- b) Editar a fonte de mensagem
  - Nome: E-MAIL RESP
  - Botão *Edit Received Message*: pressione e crie uma lista tal que o recebimento de uma mensagem com o texto E-MAIL CHECK ira estartar a fonte.
  - Received message delay: distribuição uniforme, mínimo de 3s e máximo de 5s. Número de cadeia aleatória: 0 a 99.
  - Prioridade: 1
  - Classe de roteamento: padrão
  - Protocolo de transporte: TCP/IP - Microsoft
  - Packetize: 0,01 ms
  - Message Size Calculation: Probability distribution
  - Cálculo do tamanho da mensagem: distribuição normal, média de 40000 bytes e desvio padrão de 10000 bytes. Número de cadeia aleatória: 0 a 99.
  - Message text option: Copy message name.

**B.4 Fonte de Mensagem de Pedido de Arquivo (File Request):** é usado para modelar os pedidos de arquivos ao servidor de arquivos para a carga dos mesmos.

- a) Criar a fonte de mensagem de pedido de arquivo e ligar ela ao nó ETHER PC 2-9
- b) Editar a fonte de mensagem
  - Nome: FILE REQ
    - Schedule by: Iteration time.
    - Interarrival: Distribuição exponencial, 900 s de média. Número de cadeia aleatória: 0 a 99.
    - Priority: 1
    - Classe de roteamento: padrão
    - Protocolo de transporte: TCP/IP - Microsoft
    - Packetize: 0,01 ms
    - Message Size Calculation: Probability distribution
    - Cálculo do tamanho da mensagem: distribuição uniforme, mínimo de 10 bytes e máximo de 20 bytes
    - Message text option: Copy message name.
    - Destination type: configure para lista aleatória. Crie a lista contendo somente o destino: FILE SERVER
- c) Criar 1 clone da fonte de mensagem de pedido de arquivo (FILE REQ) e ligar o clone ao TR PC 2-9.

**B.5 Fonte de Mensagem de Resposta do Servidor de Arquivos (File Server):** Conectada ao servidor de arquivos, é usada para modelar a transmissão de arquivos através da rede no recebimento de um pedido de arquivo.

- a) Criar uma fonte de resposta e ligar ela ao nó FILE SERVER.
- b) Editar a fonte de mensagem
  - Nome: FILE RESP
  - Pressione o botão *Edit Received Message* e crie uma lista tal que o recebimento de uma mensagem com o texto FILE REQ ira disparar a fonte (botão *edit received message*)
  - Prioridade: 1
  - Classe de roteamento: padrão
  - Protocolo de transporte: TCP/IP-Microsoft
    - Packetize: 0,01 ms
    - Cálculo do tamanho da mensagem: distribuição de probabilidade normal : 100000 bytes e um desvio padrão de 25000 bytes. Cadeia de número aleatório: 0 a 99.
    - Opção de texto da mensagem: Use a mensagem original.

**B.6 Criando uma Fonte de Sessão de Voz em LAN (ver figura 4.8):** é usada para modelar a transmissão de correio de voz sobre a rede.

- a) Criar uma fonte de sessão de voz e ligá-la ao nó ETHER PC1.
- b) Editar os campos da fonte de sessão
  - Nome: LAN VOICE
  - Programada por: Tempo de iteração (tempo entre chegadas é usado)
  - Interarrival: distribuição normal, média de 1000 s e desvio padrão de 10s. Cadeia de número aleatório: 0 a 99.
  - Prioridade: 1
  - Classe de roteamento: padrão
  - Protocolo de transporte: TCP/IP - Microsoft
    - Packetize: 0,01 ms
    - Mensagens/sessão: 1
    - Mensagem IAT: nenhuma
    - Setup packet: 40 bytes
    - Confirm packet: 40 bytes
    - Cálculo do tamanho da mensagem: distribuição de probabilidade normal: mínimo de 50000 bytes e um desvio padrão de 1200 bytes. Cadeia de número aleatório: 0 a 99.
    - Opção de texto da mensagem: Copie o nome de mensagem.
    - Tipo de destino: configure uma lista aleatória. Crie uma lista contendo somente o nó ETHER PC 2-9.
- c) Crie uma cópia da fonte de sessão LAN VOICE e ligue ela ao nó TR PC 1. Edite uma lista de destino para esta cópia para que o tráfego desta fonte seja enviado somente ao TR PC 2-9.
- d) O modelo esta agora completo. Use a opção *Verify Model* do menu de simulação para checar o modelo. Fixe qualquer erro encontrado enquanto construindo o modelo e salve o modelo.

### **C. Resultados da Simulação**

- a) Utilizamos um Warmup de 120 segundos.
- b) Após o Warmup utilizamos um tempo de simulação de 3600 s .
- c) Utilizamos somente 1 replicação.
- d) Antes de rodar a simulação selecionamos os relatórios desejados (ver figura 4.9)
  - Link Reports: Channel Utilization and Collision Statistics para todos os links.
  - Node Reports: Received Message Count for all nodes.
  - Message and Response Reports: Message Delay for all nodes.
  - Session Source Reports: Message Delay for all nodes.
- e) Após a simulação o resultado pôde ser visto selecionando a opção *Browse Reports* do menu *Report*

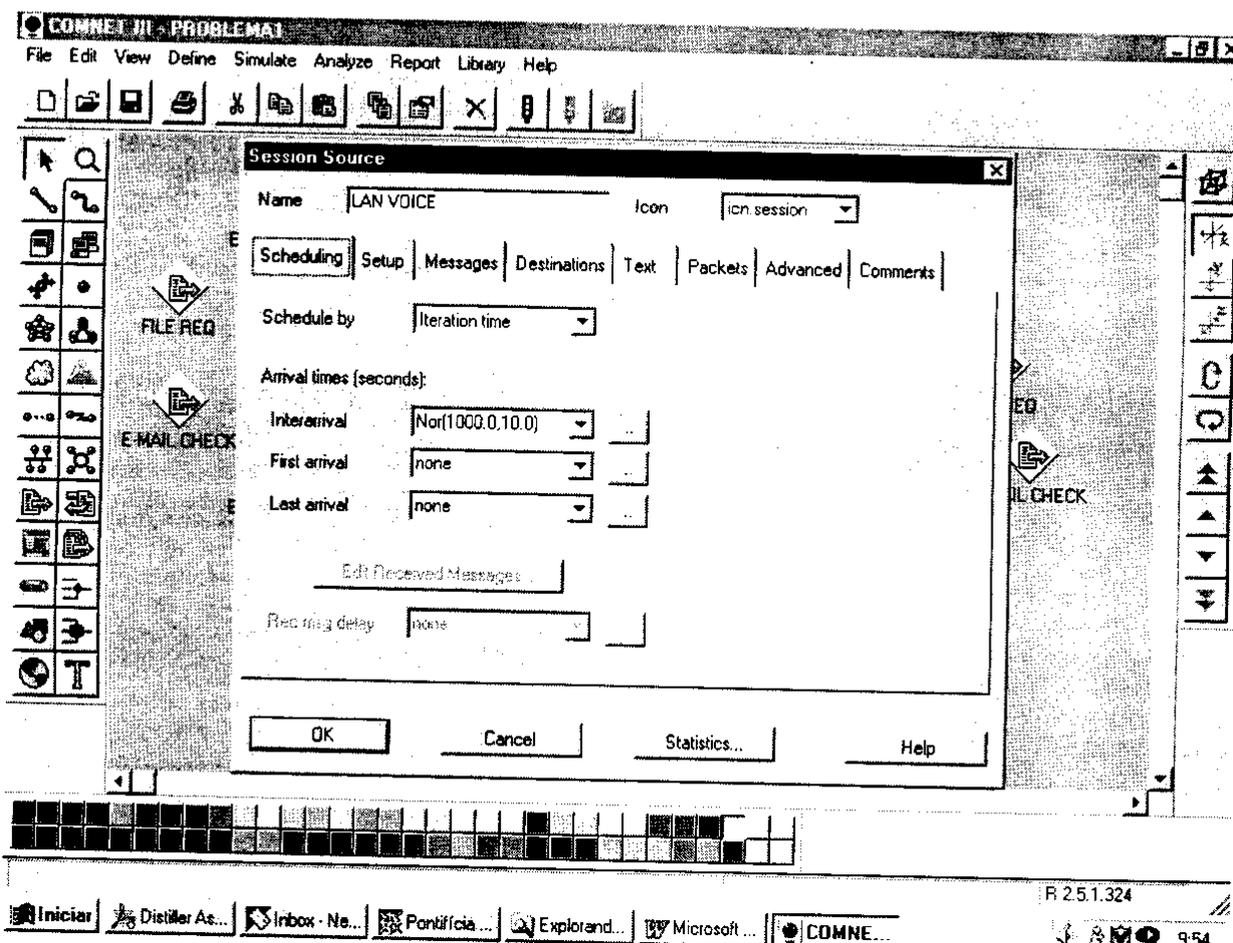


Fig. 4.8: Fonte de Sessão LAN VOICE.

#### D. Discussão dos Resultados

Mostramos nas tabelas 4.2 e 4.3, um pouco da grande quantidade de resultados que podem ser obtidos dos relatórios selecionados no item C (ver figura 4.9).

ORIGEM/FONTE LISTA DE DESTINO	TEMPO DE TX MÉDIO DE MENSAGEM (ms)
E-MAIL SERVER/E-MAIL RESP ECO (Token Ring)	347,08
FILE SERVER/FILE RESP ECO (Ethernet)	387,23

Tabela 4.2: Maiores tempos de resposta médios obtidos.

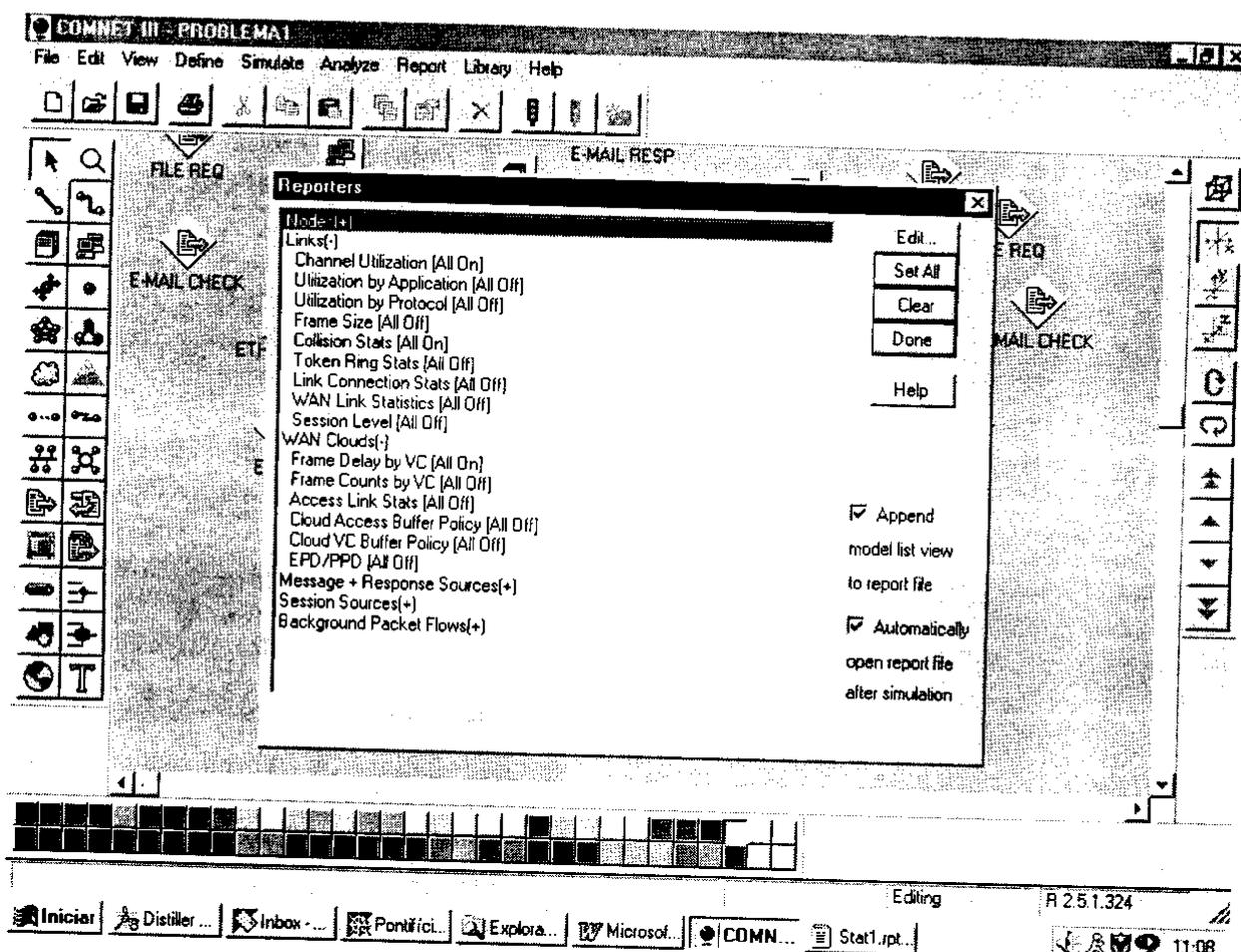


Fig. 4.9: Tela de seleção de tipo de relatório esperado na simulação do sistema.

ENLACE	FRAMES TX	NR MÚTIPLAS COLISÕES	TEMPO DE TX MÉDIO (ms)	UTIL (%)
ETHERNET	12643	5	0,613	0,1625
TOKEN RING	10745	-	0,452	0,1348

Tabela 4.3: Resultados relacionados as redes Ethernet e Token Ring.

Estes resultados mostram que a rede não esta sendo muito utilizada. Colisão na rede ethernet não é tão severa. Longos tempos de respostas ocorrem quando recebendo arquivos do servidor de arquivos via rede ethernet e quando recebendo o correio eletrônico do servidor de correio eletrônico via rede Token Ring. Esta simulação fornece uma estimativa de performance da rede em questão e caso os níveis de serviço acordados com o usuário não estão sendo satisfeitos, o gerente ou engenheiro de rede possui informação suficiente para identificar o gargalo no sistema e realizar o upgrade satisfatório.

É importante salientar que o planejamento de capacidade futura pode ser também facilmente realizado com o modelo em questão.

#### 4.6.2 ESTUDO DE CASO 2

Neste estudo de caso, fizemos uma pesquisa comparando a relação custo/benefício entre a implementação de um *backbone* de âmbito regional utilizando roteadores IP interconectados com enlaces ponto-a-ponto e acessos dedicados e uma rede suportada com o Frame Relay da Rede Pública.

Certa empresa de âmbito estadual possui uma rede heterogênea TCP/IP e SNA, utilizando vários protocolos de enlace: X25, Frame Relay, PPP e ATM.

Atualmente esta empresa possui um projeto para avaliação e reestruturação de sua rede estadual, visando principalmente a melhoria de qualidade de serviço (tempo de resposta), redução de custos e agregação de valor, como por exemplo Voz sobre IP.

Com o uso da ferramenta de simulação COMNET III efetuamos a comparação do comportamento do tempo de resposta com a adoção das seguintes tecnologias: Frame Relay e circuitos ponto-a-ponto (*backbone* IP).

Ao invés de definir uma rede cobrindo as várias localidades do estado do Paraná, apresentamos apenas uma cobrindo as cidades de Londrina e Curitiba.

No simulador COMNET III foram configurados os seguintes parâmetros:

- Protocolo TCP/IP;
- Tempo de processamento e I/O no servidor de 400 ms;
- Passagem dos *frames* por três *switches* Frame Relay;
- Tráfego de 100 bytes gerado em cada nó a intervalos de 1 segundo recebendo uma resposta do servidor de 1000 bytes.

Na primeira solução (ver figura 4.10) foi adotada a rede Frame Relay pública, onde consideramos 9 acessos de 64 Kbps na região de Londrina estabelecendo circuitos virtuais permanentes (PVC) com 1 acesso de 128 ou 256 Kbps em Curitiba, com CIR (*Committed Information Rate*) de 32 Kbps por PVC.

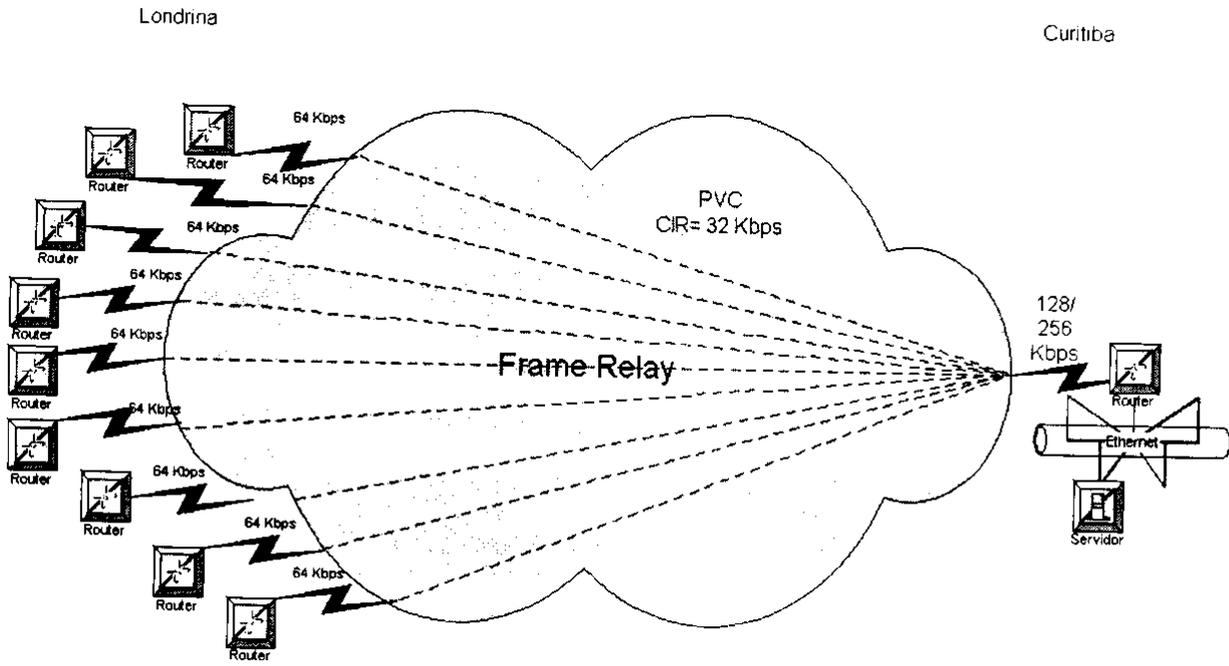


Figura 410: *Backbone* Frame Relay com 9 acessos.

Na segunda solução (ver figura 4.11) definimos um backbone IP composto de dois roteadores interligados com um circuito interurbano Londrina – Curitiba de 128 ou 256 Kbps, e 9 circuitos locais ponto-a-ponto de 64 Kbps na região de Londrina

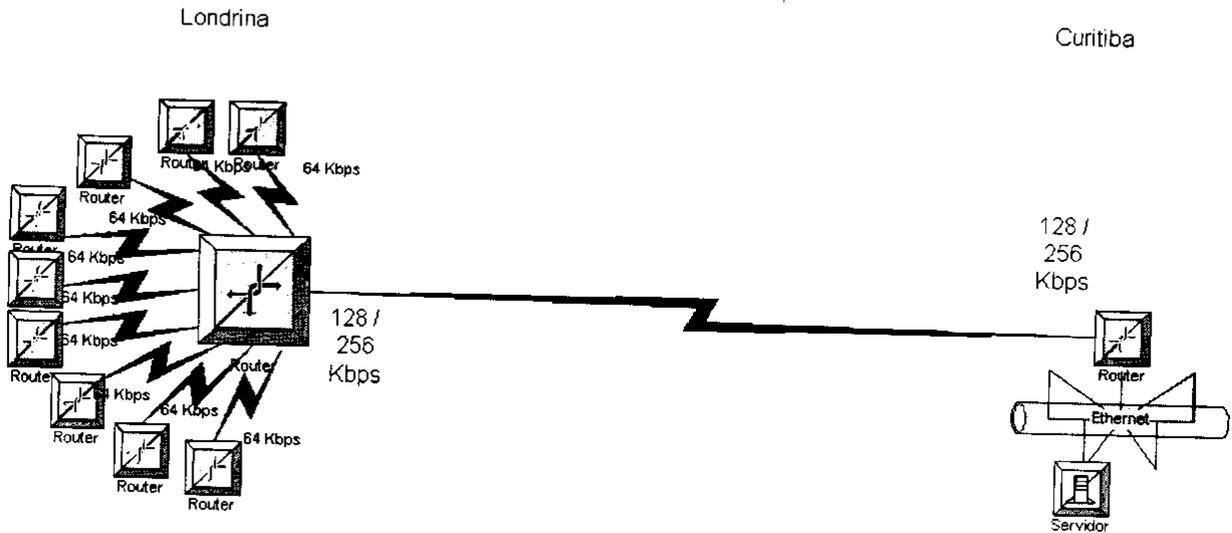


Figura 4.11: *Backbone* IP (circuitos ponto a ponto)

Na terceira solução (ver figura 4.12) consideramos 9 circuitos locais ponto a ponto de 64 Kbps e um acesso Frame Relay 128 Kbps na região de Londrina e outro de 128 Kbps em Curitiba, e um circuito virtual permanente entre esses dois acessos com CIR de 64 kbps.

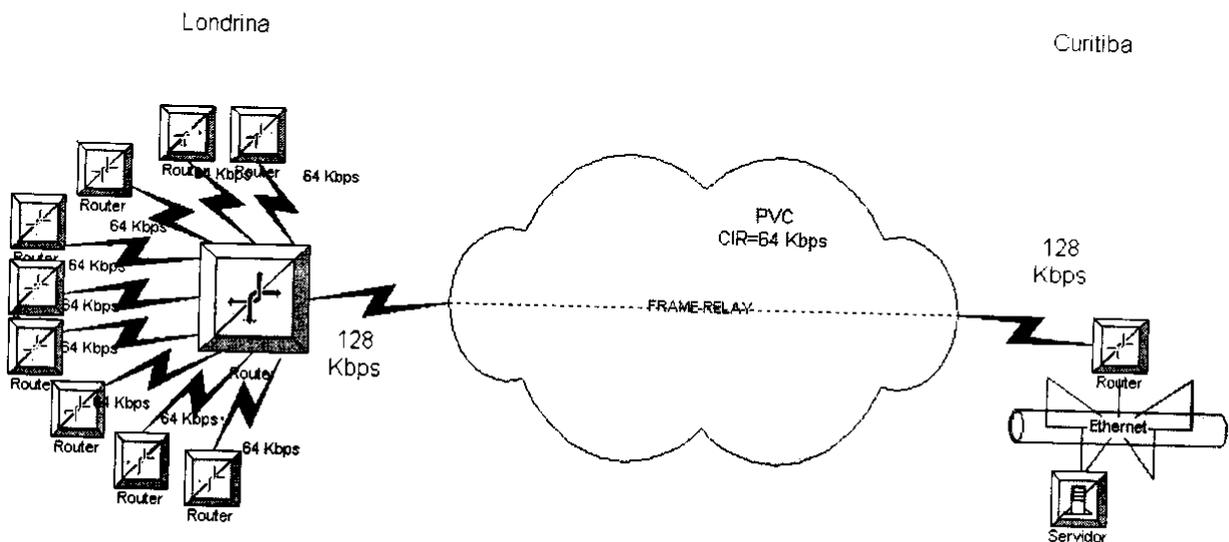


Figura 4.12: Circuitos ponto-a-ponto (local) e Frame Relay (*backbone*).

Na tabela 4.4 abaixo, mostramos o tempo de resposta médio versus solução:

Solução	Frame Relay 128 Kbps Fig. 4.10	Frame Relay 256 Kbps Fig. 4.10	Ponto a Ponto e FR 128 Kbps Fig. 4.12	Ponto a Ponto 128 Kbps Fig. 4.11	Ponto a Ponto 256 Kbps Fig. 4.11
Tempo de Resposta (ms)	1013	889	2007	951	823

**Tabela 4.4: Comparativo de tempo de resposta (ms) vs Solução.**

Na tabela 4.5 a seguir, comparamos o custo versus solução.

Solução	Frame Relay 128 Kbps Fig. 4.10	Frame Relay 256 Kbps Fig. 4.10	Ponto a Ponto e FR 128 Kbps Fig. 4.12	Ponto a Ponto 128 Kbps Fig. 4.11	Ponto a Ponto 256 Kbps Fig. 4.11
Accesso FR local 64 Kbps (R\$)	9 * 509,82	9 * 509,82	-	-	-
Accesso FR local 128 Kbps (R\$)	687,56	-	2 * 687,56	-	-
Accesso FR local 256 Kbps (R\$)	-	1.007,42	-	-	-
PVC degrau 5 CIR 32 Kbps (R\$)	18 * 639,45	18 * 639,45	-	-	-
PVC degrau 5 CIR 64 Kbps (R\$)	-	-	2 * 818,50	-	-
Ponto a ponto Local 64 Kbps (R\$)	-	-	9 * 446,48	9 * 446,48	9 * 446,48
Ponto a ponto Degrau 5 128 Kbps (R\$)	-	-	-	3.476,48	-
Ponto a ponto Degrau 5 256 Kbps (R\$)	-	-	-	-	5.379,64-
Custo total (R\$)	16.786,04	17.105,90	7.030,44	7.494,80	9.397,96

Tabela 4.5– Comparativo de custos (R\$) vs Solução. Fonte dos Custos: Tabela da Telepar de 03/00

Podemos constatar que, tanto do ponto de vista custo como desempenho a solução com circuitos ponto a ponto (*backbone* IP) é melhor. Além disso, a rede Frame Relay por adotar a multiplexação estatística e ser compartilhada por vários usuários / empresas traz o risco de congestionamento e conseqüente descarte de *frames*

De forma a fazer a simulação mais próxima da prática, definimos uma rede com 16 acessos Frame Relay de 64 Kbps na região de Londrina estabelecendo circuitos virtuais permanentes (PVC) com outro acesso de 256 Kbps em Curitiba (ver figura 4.13), com uma taxa de *oversubscription* de 100%, ou seja, a soma do CIR dos 16 PVC poderão exceder em 100% a velocidade do acesso de Curitiba.

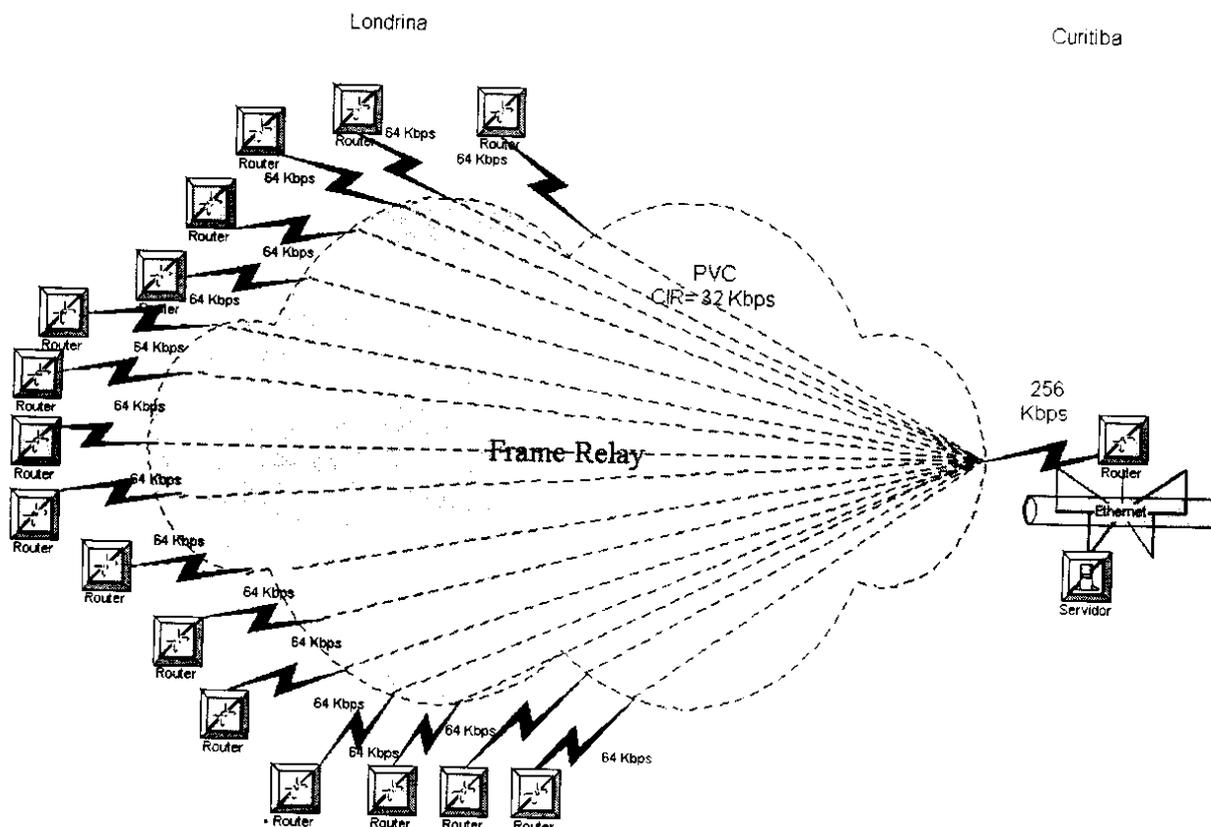


Figura 4.13: Backbone Frame Relay com 16 acessos.

Comparamos o tempo de resposta da solução Frame Relay com o obtido pela alternativa apresentada na figura 4.14, onde na região de Londrina temos 16 circuitos locais ponto a ponto de 64 Kbps e um circuito interurbano Curitiba – Londrina (degrau 5) a 256 ou 512 Kbps.

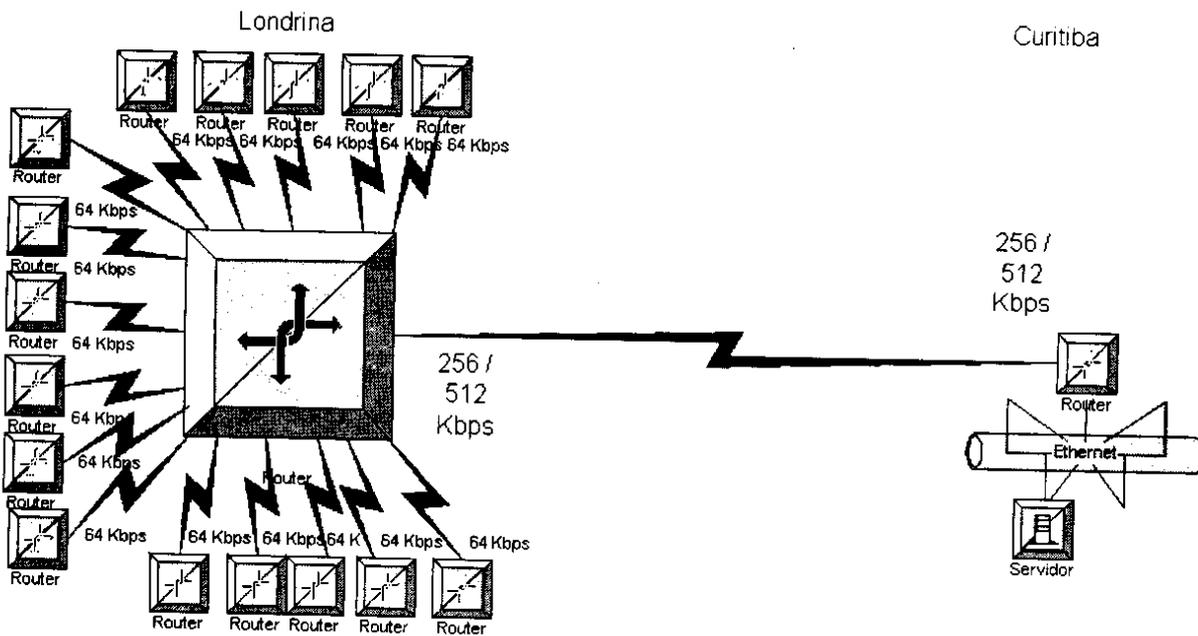


Figura 4.14: Backbone IP (circuitos ponto a ponto) com 16 acessos.

Na tabela 4.6 abaixo, mostramos o tempo de resposta médio versus a solução analisada.

Solução	Frame Relay 256 Kbps Fig. 4.13	Ponto a Ponto 256 Kbps Fig. 4.14	Ponto a Ponto 512 Kbps Fig. 4.14
Tempo de Resposta (ms)	934	878	784

Tabela 4.6: Comparativo de tempo de resposta (ms) vs Solução, para um total de 16 acessos.

Na tabela 4.7 a seguir, comparamos o custo versus a solução pesquisada.

Solução	Frame Relay 256 Kbps Fig. 4.13	Ponto a Ponto 256 Kbps Fig. 4.14	Ponto a Ponto 512 Kbps Fig. 4.14
Acceso FR local 64 Kbps (R\$)	16 * 509,82	-	-
Acceso FR local 256 Kbps (R\$)	1.007,42	-	-
PVC degrau 5 CIR 32 Kbps (R\$)	32 * 639,45	-	-
Ponto a ponto Local 64 Kbps (R\$)	-	16 * 446,48	16 * 446,48
Ponto a ponto Degrau 5 256 Kbps (R\$)	-	5.379,64	-
Ponto a ponto Degrau 5 512 Kbps (R\$)	-	-	9.185,96
Custo total (R\$)	29.626,94	12.523,32	16.329,64

Tabela 4.7: Comparativo de custos (R\$) vs Solução. Fonte dos Custos: Tabela da Telepar de 03/00

Como podemos constatar pelos dados das tabelas 4.6 e 4.7, o custo da solução Frame Relay é 136% mais cara que aquela utilizando ponto a ponto a 256 Kbps e com um tempo de resposta (considerando 400 ms de processamento no servidor) 6,37 % pior. É também 81% mais dispendiosa em relação à solução com circuito 512 Kbps e tempo de resposta 19,13 % mais lento.

Obviamente a solução com *backbone* IP exigirá a aquisição ou aluguel de um roteador com disponibilidade de pelo menos 17 portas seriais para a região de Londrina .

Abaixo na tabela 4.8 apresentamos a estimativa de custos para aquisição de um roteador com perfil para atender a região de Londrina.

Roteador para Londrina	Custo (US\$)	Custo (R\$)
Cisco 4500 com IOS IP Plus	10.578,00	20.627,10
Módulo Fast Ethernet	6.000,00	11.700,00
Módulo com 2 portas seriais até 2 Mbps e 16 portas até 128 Kbps	13.240,00	25.818,00
Cabos de comunicação	2.380,00	4.641,00
Total	32.198,00	62.786,10

Tabela 4.8: Custo do roteador. Fonte: Alphanet. (Taxa de câmbio US\$ : 1,95 reais)

Considerando o valor investido no equipamento e a economia com custos de rede de comunicação obtida a partir dos dados da tabela 4.7, podemos constatar que o retorno do investimento no roteador ocorrerá em 4 meses para a solução com circuito a 256 Kbps e 5 meses para a solução com circuito a 512 Kbps. Portanto podemos concluir que a mudança da solução tecnológica é amplamente favorável nos aspectos financeiro e qualidade de serviço.

## 5. UMA PROPOSTA DE QoS PARA REDES IP

A demanda por serviços IP, incluindo comércio eletrônico, acesso a Internet, serviços de rede sem fio, dial-up e serviços de Redes IP Privadas Virtuais dedicadas (IVPN), serviços de fornecimento de recursos de rede, serviços de aplicação e entrega de conteúdo, serviços de venda, está crescendo em uma taxa alarmante.

O problema que está em face dos Provedores de Serviços IP, o qual inclui Provedores de Serviço de Internet (ISPs), Provedores de Serviços de Rede (NSPs), Companhias Provedoras de Recursos de Rede, Provedores de Serviços de Aplicação (ASPs), Provedores de Serviço IP Móvel, Provedores de Serviços de Entrega de Conteúdo (CDSPs), é construir um negócio lucrativo e manter a lucratividade em face do aumento de competição. Este problema aparece de forma mais acentuada no mercado de consumidores de acesso a Internet, como mostrado na figura 5.1. Esta figura mostra que com a exceção da America On Line (AOL), a maioria dos líderes ISPs no mercado americano, não possuem lucratividade e estão ameaçados a um prejuízo maior com o aparecimento de serviços de acesso livre a Internet oferecidos por companhias tal como NetZero, 1stUP.com, Free!, Franz.net, e Brand 3.

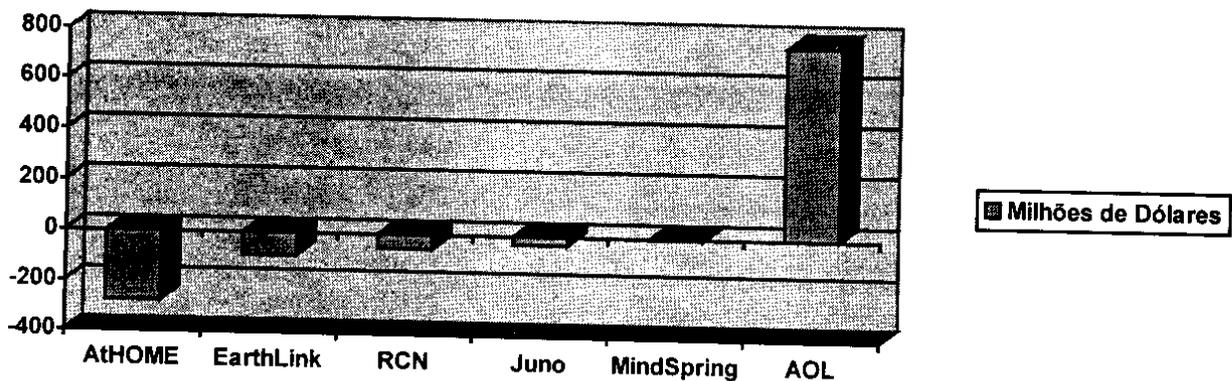


Fig. 5.1: Relatório de lucratividade de setembro de 1998 a setembro de 1999 (Fonte: *The Yankee Group, 2000*)

A baixa margem de lucratividade ou o prejuízo na prestação dos serviços IP anteriormente mencionados está se tornando comum. Neste caso, o prejuízo obtido na prestação de Serviço de Acesso a Internet, é simplesmente um exemplo do sintoma do problema. O problema em si é a incapacidade dos Provedores de Serviços IP em construir serviços diferenciados que forneçam suficiente qualidade aos clientes, garantam uma tarifação mais elevada e assegurem a retenção do cliente.

A maioria dos segmentos de Provedores de Serviços IP podem ser caracterizados como imaturos, pois hoje em dia somente a entrega do serviço é considerada suficiente.

Nossa proposta é uma iniciativa no sentido de diferenciar os tipos de serviços a serem tratados numa rede IP de tal forma que o usuário também seja diferenciado com relação a qualidade do serviço sendo oferecido e o provedor possa desta forma assegurar uma lucratividade maior na prestação de serviços IP e consequentemente uma retenção do usuário pela qualidade oferecida.

Nosso estudo é direcionado ao uso do IPv4 ao invés do IPv6. Pois o IPv4 conserva aplicações e estruturas de rede já existente e possui vários campos de cabeçalho, como mostrado na figura 5.2, tais como Type of Service e endereço IP, que quando combinados podem servir para a identificação do tipo de serviço ofertado [06]. Além do mais, a conversão das redes de comunicação de IPv4 para IPv6 custará bilhões de dólares. O que nós necessitamos no momento é de endereçamento estendido, uma característica que pode ser facilmente disponível pela adição de um cabeçalho estendido. Nós podemos fazer isto de forma incremental, tal que possamos adicionar um cabeçalho, dois ou três cabeçalhos se necessário, ao invés de saltarmos de 32 para 128 bits de uma vez só [12, 14].

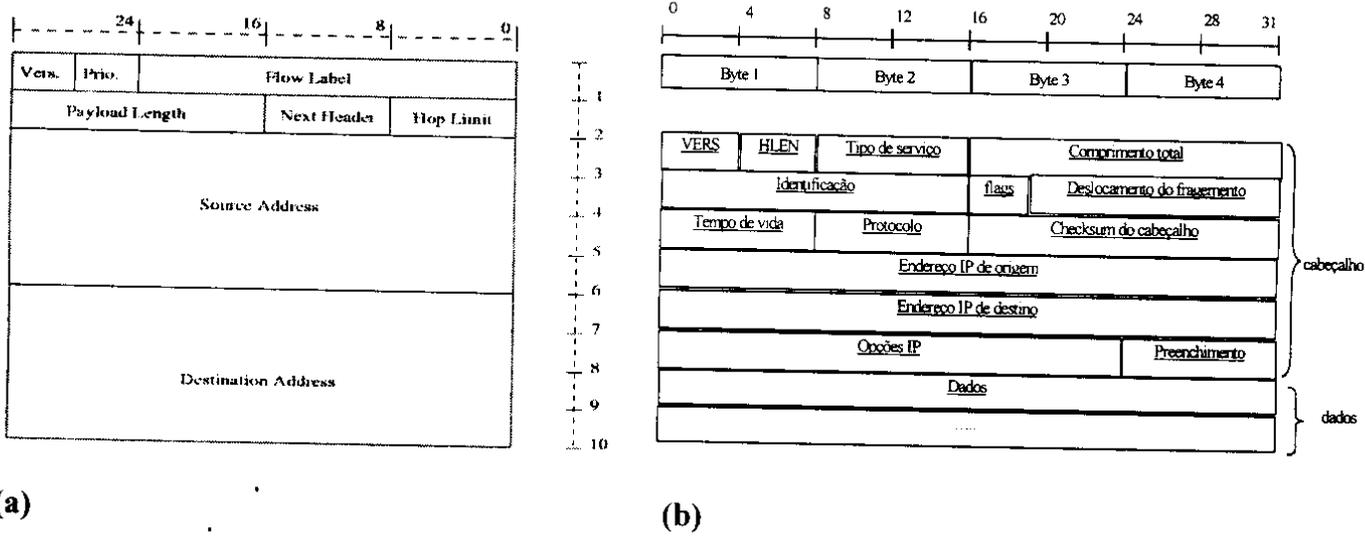


Fig. 5.2: Cabeçalhos de pacote para (a) IPv6 e (b) IPv4.

Existem vários campos, tal como "IP Address" e "protocol number" em IPv4, que podem identificar um fluxo. IPv6 possui um rótulo de fluxo explícito, porém nenhum acordo internacional foi firmado com relação ao seu exato uso.

A integração de serviços de voz e dados com qualidade, supõe o uso da Internet como uma rede resultante desta integração. Por outro lado, a Internet deverá possuir canais de largura de banda suficiente para garantir a qualidade exigida. Neste sentido uma rede IP sobre DWDM (Dense Wevelength Division Multiplexing) pode garantir a largura de banda com menos overhead do que IP sobre ATM sobre SDH sobre DWDM, veja a figura 5.3 [11, 12, 19].

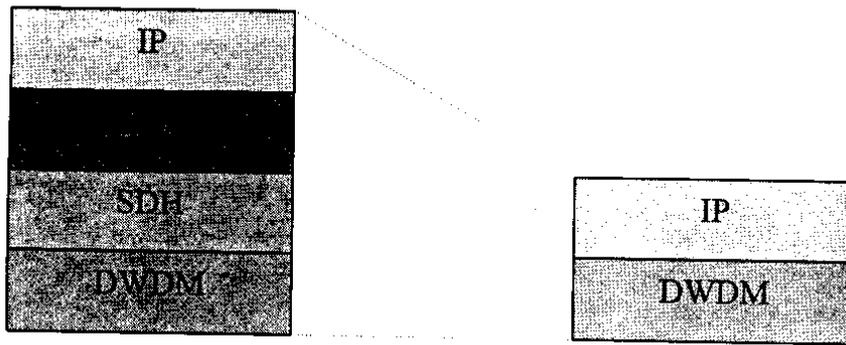


Fig. 5.3: IP sobre DWDM.

Ao invés de rodar IP sobre ATM sobre SDH sobre DWDM, IP pode operar diretamente sobre a camada DWDM.

As redes ópticas operando com DWDM oferecem uma capacidade de largura de banda significativamente maior sobre o cabeamento de fibra óptica existente e requer menos componentes de rede. Isto responde a questão de como aumentar a capacidade de largura de banda em redes integradas, com o aumento projetado em tráfego IP. DWDM possui também a capacidade de reduzir custos e simplificar a topologia e operação da rede.

A capacidade extra de largura de banda provém do fato de que múltiplas frequências de comprimento de onda chamadas canais, ou lambdas, podem ser fornecidos sobre uma única fibra usando a tecnologia chamada *Dense Wave Division Multiplexing* (DWDM). Cada canal DWDM pode suportar OC-48 ou OC-192 (48 x 51,83Mbps ou 192 x 51,83Mbps) de largura de banda, e a próxima geração de equipamentos DWDM será capaz de suportar entre 40 ou 80 canais sobre um único cabo de fibra óptica.

A figura 5.3 ilustra a redução em componentes de rede e a conseqüente redução em custos. Esta redução de componentes também elimina a duplicação de funções entre camadas. Os roteadores IP atualmente podem tratar pacotes sobre interfaces SDH desde velocidades OC-48 a OC-192. Porém estes roteadores IP devem sofrer um upgrade que permita a eles conectarem-se diretamente a multiplexadores DWDM. Upgrades são necessários também no sentido de fornecer muitas das capacidades de gerenciamento e restauração hoje oferecidas por SDH [16, 20].

Nosso objetivo é apresentar uma proposta para obter QoS previsível para serviços IP. Para tanto deveremos usar as ferramentas de modelagem de redes via simulação discreta para definirmos classes de fluxo e a necessidade de recursos de rede para o tratamento de uma dada aplicação. Esta proposta complementa as aplicações sugeridas para as ferramentas de modelagem de sistemas de comunicação via simulação discreta no que diz respeito ao seu uso em pesquisa, pois no capítulo 4 estudamos sua aplicação na área de gerenciamento e projeto de redes.

Tendo feita estas considerações iniciais, na seção seguinte ilustramos como na teoria e na prática, QoS previsível pode ser oferecido por redes IP.

## 5.1 UM MODELO PARA FORNECER QoS FIM-A-FIM EM REDES IP

O problema em oferecer QoS a Internet esta ligado principalmente ao fato de redes IP terem uma arquitetura não orientada a conexão. Enquanto serviços de linha alugada fornecem largura de banda equivalente a circuitos físicos entre dois pontos e serviços de transmissão de dado como Frame Relay ou ATM fornecem conexões fim-a-fim pré-definidas via circuitos virtuais lógicos, a Internet transporta o tráfego sem nenhum circuito ou caminho pré-definido através da rede. Ao contrário, o tráfego IP é transmitido entre os roteadores em um salto por vez, e pacotes sucessivos podem seguir diferentes caminhos para o mesmo destino.

Desta forma a solução de QoS para redes IP deve estabelecer de alguma forma, um controle fim-a-fim sobre um ambiente que não possui os conceitos de conexão fim-a-fim pré-definida. Existem 3 elementos básicos que podem ser utilizados juntos para alcançar tal objetivo.

- **Definição de QoS.** Os clientes, provedores de serviço e a rede devem compartilhar um vocabulário que define o que QoS significa e devem usar meios de moderar os níveis de QoS sobre a Internet.
- **QoS de Acesso.** O controle de largura de banda e o policiamento de tráfego são críticos no ponto onde o tráfego do cliente entra na rede. O controle de QoS fim-a-fim deve ser iniciado nos equipamentos do cliente e deve ser granular o bastante para diferenciar os requerimentos de serviço de múltiplos fluxos de tráfego.
- **QoS de Backbone.** O backbone da rede administra QoS de forma diferente do ponto de acesso da rede. O QoS de backbone trabalha sobre agregados de tráfego de usuário e não sobre correntes de tráfego individual. Para suportar a garantias no serviço fim-a-fim, o backbone deve fornecer o transporte e o controle suficiente para satisfazer os níveis de serviços prometidos aos usuários.

Na figura 5.4 mostramos como estes 3 elementos poderiam ser usados para classificar o tráfego do usuário e mapeá-lo a um backbone capaz de suportar classes de serviços diferentes definidas por um equipamento no ponto de acesso do usuário à rede. Este equipamento pode usar uma política granular que envolva o policiamento de tráfego e o controle de largura de banda. As rotas, caminhos, PVCs de backbone representando diferentes níveis de serviço são baseadas nas políticas definidas no ponto de acesso [06].

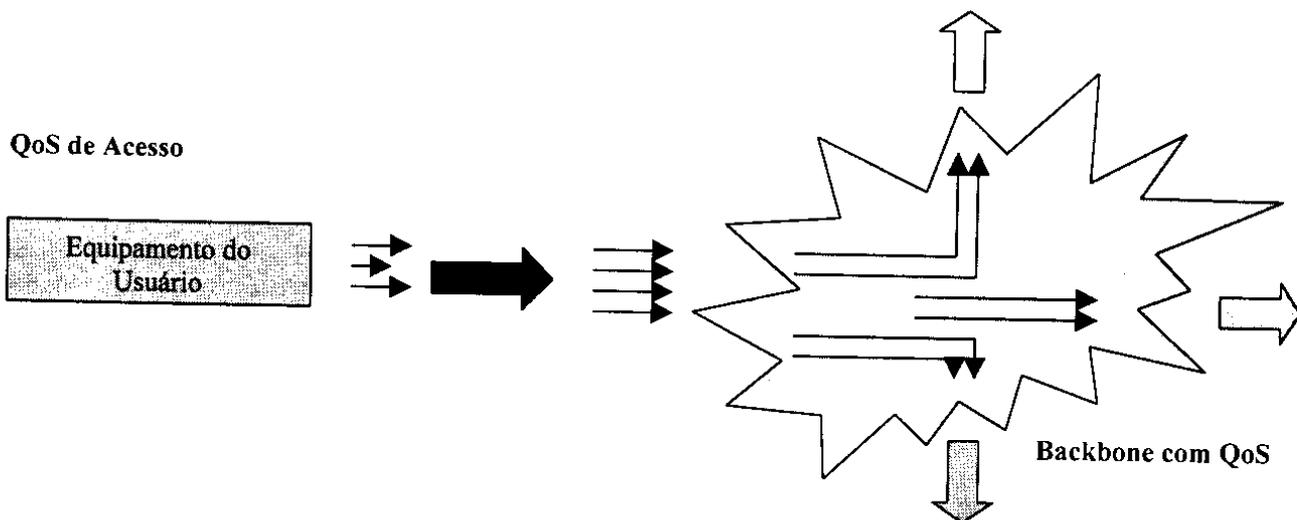


Fig. 5.4: Passos para obter QoS na Internet.

## 5.2 DIFFSERV E MPLS

Dois grandes esforços de padronização da IETF estão tornando a QoS em redes IP uma realidade. Estes padrões são o "Differentiated Services (DiffServ)" e o "Multiprotocol Label Switching (MPLS)" [06, 11].

Algumas vezes estas técnicas são entendidas como rivais uma da outra, porém na realidade são esforços de desenvolvimento complementares que abordam o problema de QoS para dois tipos de perspectivas de rede IP.

DiffServ é uma solução de camada 3 usada para requerimentos de QoS em um ambiente de rede não orientado a conexão. Sua principal proposta é padronizar um conjunto de blocos estabelecendo regras de QoS com as quais os provedores podem modelar seus serviços IP com QoS.

O QoS via DiffServ é para ser implementado nas pontas da rede via periféricos de acesso e então suportado através do backbone via roteadores capazes de tratar tráfego DiffServ. Devido ao fato do DiffServ operar puramente na camada 3, esta técnica não pode ser usada em qualquer infraestrutura de camada 2. Roteadores suportando DiffServ ou não e serviços podem ser misturados no mesmo ambiente.

MPLS é uma estratégia para simplificar e aumentar a eficiência do transporte a nível de backbone de pacotes IP através de uma rede de camada 2 ou 3. Embora MPLS envolva questões de QoS, este não é seu principal objetivo. MPLS está direcionado principalmente a melhorar a escalabilidade da Internet através de uma Engenharia de Tráfego melhor. MPLS ajudará a construir redes de backbone que melhor suportam tráfego com QoS, porém isto requer mudanças significativas na arquitetura de rede existente. MPLS é

essencialmente uma mistura das camadas de rede (3) e de enlace (2), e pode representar uma maneira totalmente nova de construir backbone de redes IP.

DiffServ e MPLS são de fato desenvolvimentos independentes que podem funcionar com ou sem a ajuda um de outro. Nenhuma especificação requer o uso da outra, porém redes MPLS devem ser capazes de derivarem o status de QoS de tráfego DiffServ. Existe uma esperança de que estas duas técnicas possam ser usadas juntas, uma no acesso (DiffServ) e outra a nível de backbone (MPLS).

A curto prazo DiffServ parece ter uma relevância maior. Ele atribui valores de QoS no cabeçalho do IP, e fornece um mecanismo para obter QoS de acesso e QoS de backbone através da rede. A especificação desta tecnologia já se encontra em seu estado preliminar. Implementações recentes provaram que a tecnologia é estável, e produtos baseados em padrões estarão logo disponíveis no mercado. MPLS, por outro lado, não possui previsão para atingir o status de RFC.

### **5.3 ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO DIFFSERV**

DiffServ evoluiu do padrão IntServ (Integrated Services) do IETF. Ele elimina muita da complexidade proveniente do IntServ uso do Resource Reservation Protocol (RSVP) para configurar e separar reservas de QoS.

DiffServ elimina a necessidade do uso do RSVP e utiliza o campo "Type of Service (ToS)" encontrado no cabeçalho de pacotes IPv4. O campo ToS foi originalmente direcionado pelos projetistas do IP para suportar características iguais a QoS, permitindo especificar grandess ou pequenos atrasos a aplicações, confiabilidade, e requerimentos de throughput, porém nunca foi usado de uma maneira global bem definida. Porém devido o campo ser um elemento padrão de cabeçalhos IP, DiffServ é razoavelmente compatível com o mecanismo IP existente e pode ser implementado em larga escala via upgrades de software ou firmware.

DiffServ pega o campo ToS (8 bits), denomina ele como byte DS (DiffServ) e re-estrutura ele para definir parâmetros de QoS IP. O byte DS irá determinar como os roteadores tratam um pacote. Ao invés de tentar identificar e gerenciar fluxo de tráfego IP como o RSVP e o MPLS devem fazer, DiffServ faz considerações de QoS como na prática normal de roteamento IP de pacote por pacote, ou salto por salto.

Decisões de encaminhamento são feitas de acordo com parâmetros definidos pelo byte DS, e são manifestadas num comportamento salto-por-salto (Per-Hop Behavior - PHB). Por exemplo, o PHB padrão numa rede DiffServ é o serviço tradicional de melhor esforço (Best Effort - BE) usando o sistema de enfileiramento primeiro que chega, primeiro que é servido ("First-in-First Out - FIFO). Outros PHBs são definidos para melhores classes de serviços. Um exemplo é o "Expedited Forwarding (EF)". Quando pacotes EF entram num roteador DiffServ, eles são tratados em filas mais curtas e rapidamente servidos para manter baixa a latência, perda de pacotes e jitter. Outro PHB é o "Assured Forwarding (AF)" que permite prioridade variável porém assegura que os pacotes cheguem numa ordem apropriada.

O roteador DiffServ (DS-Rtr) é capaz de tratar ToS, e desta forma ele lê o campo PHB (Per Hop Behavior) ou campo precedente em cada pacote para determinar o nível de serviço requerido. O tráfego é então encaminhado de acordo com o requerimento de nível de serviço definido. Por exemplo, o tráfego marcado para serviço premium (*premium service - P*) é tratado de acordo com a especificação para serviço premium, veja a figura 5.5.

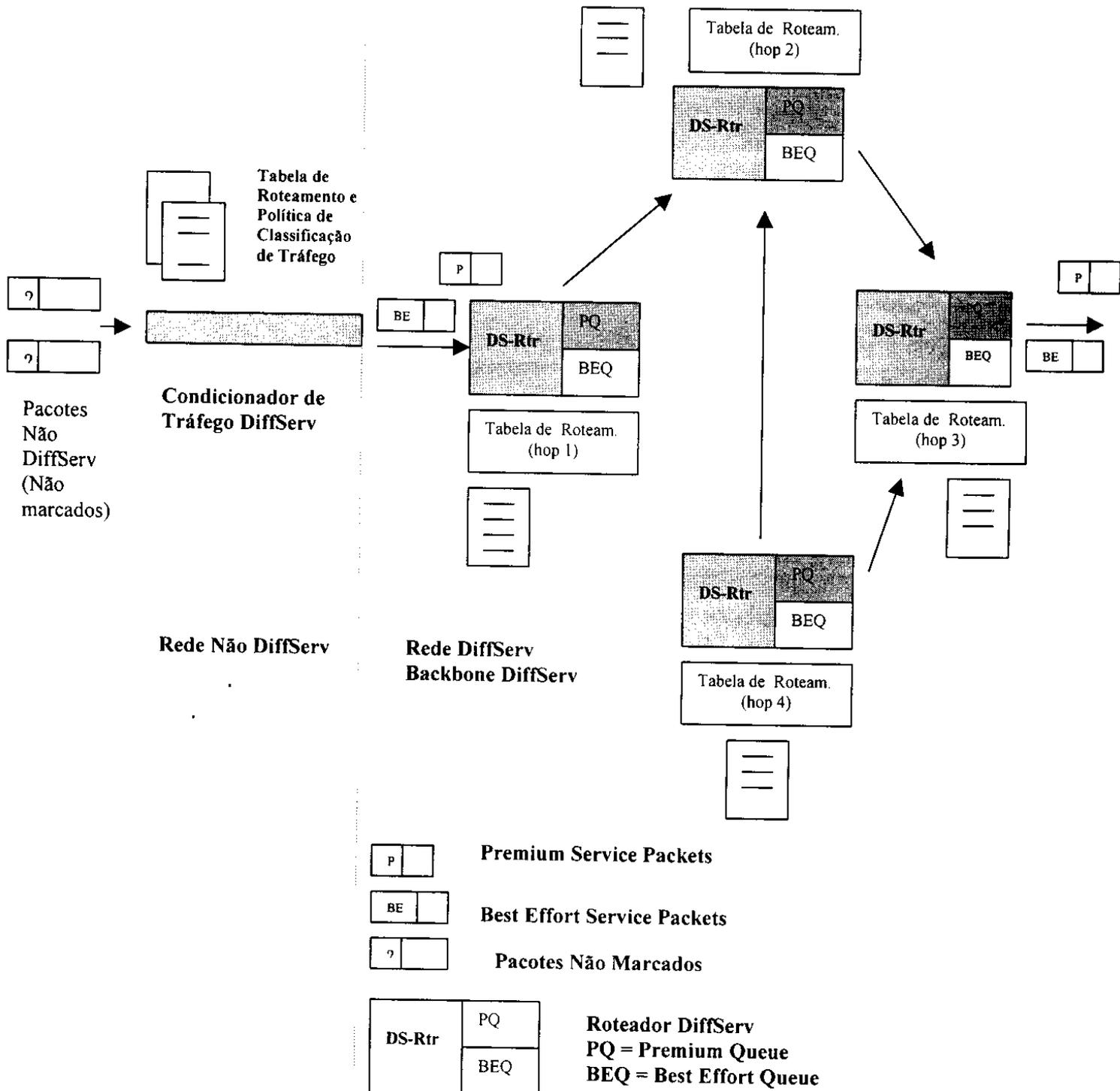


Fig. 5.5: Rede DiffServ tratando o campo ToS.

O DiffServ padroniza a classificação de PHB, marcando e colocando em ordem de prioridade os procedimentos que devem ser executados, porém ele deixa os fornecedores e provedores de serviço livres para desenvolver seu próprio modelo de PHB. Fornecedores de roteadores podem definir parâmetros e características que eles acharem importante para fornecer controle efetivo de QoS. Os provedores de serviço por sua vez podem determinar combinações de PHB para diferenciar a qualidade em seus serviços prestados.

Desta forma, caso a rede não existe ou já existe e seja transformada em DiffServ, as combinações de PHB poderiam ser obtidas via ferramenta de simulação discreta com a modelagem dos diversos tipos de tráfego e pesquisa de sua respectiva QoS. Vale salientar que a ferramenta de simulação discreta pode se utilizar de arquivos binários gravados por um analisador de protocolos, sniffer ou ferramenta de gerência de rede, para simular o comportamentos de tipos de tráfegos reais variados no modelo computacional. A ferramenta também poderia ser adaptada para colher amostragens do comportamento da rede, simular o modelo e redefinir parâmetros PHB dinamicamente com a intenção de garantir QoS, salvar recursos na rede, melhorar o throughput.

#### **5.4 ASPECTOS FUNDAMENTAIS DO MPLS**

O MPLS está ligado a tecnologias de comutação que foram desenvolvidas para trazer conceitos de comutação de circuitos ao ambiente de roteamento não orientado a conexão de redes IP.

Na atual especificação do padrão, os equipamentos MPLS de ponta de rede adicionam um rótulo de 4 bytes (32 bits) ao cabeçalho do pacote IP. É um esquema de encapsulamento IP, onde basicamente o rótulo fornece informação de roteamento que permite aos pacotes serem transferidos sobre o backbone usando caminhos pré-estabelecidos. Estes caminhos funcionam a nível de camada 3 ou podem até mesmo serem mapeados diretamente para a camada 2 tal como ATM ou Frame Relay. MPLS melhora a escalabilidade da Internet eliminando a necessidade de cada roteador e switch, para o caminho seguido por um pacote, executar a análise redundante de endereços e cálculo de roteamento.

MPLS também permite o roteamento de backbone explícito, o qual especifica previamente os saltos que um pacote irá ter através da rede. Roteamento explícito irá dar ao tráfego IP uma aparência de conexões fim-a-fim sobre o backbone. Esta característica deve permitir uma performance mais determinística ou previsível, a qual pode ser usada para garantir QoS.

A definição MPLS de parâmetros IP para QoS é limitada. Dentro do total de 32 bits, um rótulo MPLS somente reserva 3 bits para especificar QoS. Roteadores de Comutação de Rótulos (Label - Switching Routers - LSRs) irão examinar estes bits e direcionar os pacotes para os caminhos que fornecem um nível de QoS apropriado. Porém os valores exatos e funções destes bits ainda não foram definidos.

O MPLS está mais voltado para arquitetura de backbone de rede e engenharia de tráfego do que com definição de QoS.

Porém, poderíamos também usar aqui uma ferramenta de simulação discreta para determinar os caminhos que cada tipo de tráfego deve selecionar para garantia de QoS.

## 5.5 ACESSO COM QoS

A solução de QoS esta relacionada com o fornecimento, alocação e controle de largura de banda e isto deve ser feito primeiramente nos pontos de acesso da rede. Onde o tráfego entra na rede, os usuários devem estar aptos a classificar e atribuir prioridades a seus fluxos de tráfego de acordo com as políticas de negócio em questão. Os requerimentos devem então ser mapeados para diferentes níveis de serviços oferecidos pelos provedores de rede.

O DiffServ confia nos condicionadores de tráfego instalados nos pontos de acesso da rede para executar esta função de acesso de QoS. Os condicionadores de tráfego são periféricos de acesso a rede que tratam 4 requerimentos chaves: classificação de tráfego, marcação, adequação e policiamento.

- A classificação seleciona os pacotes que entram na rede baseado nos campos de cabeçalho ou parâmetros de payload e determina a eles filas apropriadas de QoS.
- A marcação é um processo de configurar o byte DS de acordo com as políticas configuradas no condicionador de tráfego. Neste ponto os pacotes são transformados em tráfego DiffServ. As ferramentas de simulação poderiam ser utilizadas para a seleção adequada do byte DS que atende ao QoS solicitado.
- A adequação permite ao condicionador de tráfego usar de políticas para adequar a largura de banda do canal ao espaço de buffer necessário. Para isto a reserva de espaço de buffer é feita, permitindo intensidade de rajadas de tráfego menores.
- O policiamento permite ao condicionador de tráfego monitorar o comportamento do tráfego (por exemplo: rajadas) e gerenciar o throughput pela marcação de pacotes (em situações como: fila para processamento, em fila de espera, descartado).

## 5.6 QoS DE BACKBONE

Como vimos em nosso estudo, existem 2 escolhas para fornecer aos backbones de rede IP a capacidade de uportar QoS fim-a-fim. A primeira altera a arquitetura de encaminhamento de tráfego IP até ela passar a funcionar igual a um ambiente de comutação de circuitos. Esta é a solução MPLS.

A Segunda simplesmente fornece largura de banda suficiente através do backbone da rede, a qual garante os níveis de serviços acordados. A dificuldade em fornecer QoS a fluxos de tráfego variado pode ser evitada pelo fornecimento de largura de banda suficiente para atender as necessidades do cliente.

Se um provedor de serviços vende 10 contratos para tráfego tipo *premium*, com garantia de serviço em 1 Mbps cada, então 10 Mbps de largura de banda deve ser fornecido através do backbone. Assim como outros serviços de dado, como o "*Committed Information Rate - CIR*" do frame relay, throughput garantido custa mais que tráfego rotulado como tipo "*best effort*" porém ele pode ser obtido.

Os provedores de serviço podem melhorar a capacidade de largura de banda de seus backbones pelo uso de tecnologias como o DWDM [16, 20].

## 6. CONCLUSÃO

O estudo de sistemas e sua modelagem pode ser realizado com precisão utilizando métodos de simulação. Protocolos para sistemas de comunicação não fogem a esta regra e podem ter sua modelagem realizada através de um simulador. Desta forma, poderíamos estudar se as técnicas propostas forneceriam uma performance adequada às aplicações existentes. Poderíamos também realizar estudos de planejamento de capacidade para qualquer sistema de comunicação.

A modelagem via técnica de simulação é mais barata e permite uma flexibilidade maior com relação a mudanças a serem feitas num determinado sistema como o uso de uma rede de teste ou laboratório.

Existem no mercado várias ferramentas de simulação direcionadas a modelagem de sistemas de comunicação. Seu grau de especificação e poder de análise depende do objetivo do profissional envolvido no trabalho a ser realizado. Desta forma, temos ferramentas que podem ser usadas por profissionais de venda, supervisão e gerência de sistemas de comunicação, projetista de sistemas de comunicação e pesquisadores. Algumas delas podem ser usadas por todos os profissionais mencionados acima, outras são mais específicas para um determinado tipo de profissional.

Geralmente estas ferramentas de simulação vem acompanhadas de bibliotecas que facilitam a escolha de um determinado protocolo, periférico ou recurso de rede. Porém existe também a possibilidade do pesquisador desenvolver objetos novos para a biblioteca existente. Os objetos podem ser desenvolvidos em linguagem própria de simulação como o GPSS, SÍMULA, SIMSCRIPT ou podem ser desenvolvidos em linguagem de uso geral como o C ou C++.

Ferramentas de simulação de domínio público podem também ser baixadas na Internet. Estas ferramentas podem ser usadas para fins educacionais ou comerciais e geralmente encontram-se em sites universitários [09].

Apresentamos e discutimos as potencialidades de 10 ferramentas importantes utilizadas hoje em dia na modelagem de sistemas de comunicação. Encontramos 2 ferramentas importantes que podem inclusive serem utilizadas com sucesso na área de pesquisa. Estas ferramentas são o COMNET III e o Modeler. Além destas 10 ferramentas apresentamos uma lista de outras ferramentas que podem ser usadas nas áreas de supervisão e gerenciamento de sistemas de comunicação, prestação de serviços de sistemas de comunicação, pesquisa e aplicações especiais em sistemas de comunicação.

Selecionamos e apresentamos a resolução de 2 estudos de caso na área de sistemas de comunicação utilizando a ferramenta COMNET III. O primeiro foi direcionado a resolução de um problema de gerenciamento e supervisão de rede, no qual mostramos as interfaces gráficas que uma ferramenta poderosa como o COMNET III possui. Neste estudo verificamos a performance da rede em face de sua atual topologia e distribuição de cargas provenientes das diversas aplicações que rodam atualmente neste sistema. Com este estudo,

o gerente ou engenheiro tem condições de alterar a topologia, a distribuição de cargas, ou a configuração dos periféricos e recurso de rede caso os níveis de serviço acordados com o usuário não sejam aceitos.

No segundo estudo de caso, também realizado via COMNET III, fizemos uma pesquisa da melhor topologia e arquitetura de rede que atendesse a relação custo benefício de um sistema a ser instalado a nível estadual. Realizamos este estudo com dados reais com relação a propostas de configuração de equipamentos, topologias, arquitetura de redes, preços de canais e tecnologias correlatas.

Finalmente apresentamos um estudo onde fizemos uma proposta de QoS para Redes IP. Verificamos que o DiffServ é mais que um modelo para gerar QoS a Internet. Ele é uma abordagem que pode ser implementado com a ajuda de técnicas de simulação para definição de PHB (*Per-Hop Behavior*) e tecnologias que seguem as especificações do IETF. A solução deve funcionar porque ela responde aos requerimentos de QoS fim-a-fim sem alterar a natureza não orientada a conexão do IP.

Quando o MPLS for usado ele deverá melhorar a engenharia de tráfego do backbone de redes IP. Porém o controle de acesso de tráfego a rede via DiffServ é o passo mais importante a ser seguido para QoS em redes IP. Com o controle de acesso para definições de QoS e gerenciamento da rede nas pontas, os provedores podem gerar níveis de serviço com razoável granularidade. As definições de QoS para determinados tipos de serviços poderiam ser realizadas via ferramenta de simulação durante a operação do sistema ou não.

Estender o uso de QoS através do backbone para assegurar desempenho fim-a-fim pode ser conseguido com o fornecimento suficiente de largura de banda de canal que suporte os acordos de níveis de serviço relacionado com os tipos de tráfego de um determinado usuário. Concluímos que com ou sem MPLS, provedores de serviço podem obter QoS no backbone através da oferta a redes IP da largura de banda que foi prometida no ponto de acesso da rede. Esta largura de banda pode ser conseguida via WDM.

A combinação de controle de acesso e um backbone preparado é a chave para a solução de QoS em redes IP. Isto pode ser implementado sem uma mudança significativa na arquitetura de rede existente, pois a proposta trabalha com o IPv4, e pode satisfazer as necessidades de clientes que desejam IP como sua alternativa de WAN.

## 7. PESQUISA FUTURA

O trabalho apresentado nesta tese foi direcionado a modelagem de sistemas de comunicação via ferramenta de simulação porque em minha tese de doutorado fiz uso deste recurso para a realização e validação de diversas propostas no estudo de protocolos voltados ao controle de fluxo e ao roteamento de pacotes [03, 04, 05].

Ainda no momento temos interesse no estudo de protocolos de sistemas de comunicação e uma das áreas que me chamou a atenção foi a necessidade de oferecer QoS para redes IP.

Poderíamos estender este trabalho definindo melhor as políticas a serem levadas em consideração nos pontos de acesso da rede para a ocupação de recursos na rede. Também poderíamos apresentar um modelo via simulação discreta detalhando como os PHBs podem ser determinados a partir de previsão de tipos de tráfego do usuário ou de amostras de tráfego real colhido da própria rede. Os provedores de serviços IP além de oferta de QoS em seus serviços, precisam de uma maneira de tarifar estes serviços, portanto uma proposta poderia ser apresentada no sentido de tarifar os tipos de qualidade de serviços oferecidos. Dependendo da condição da rede os PHBs poderiam mudar dinamicamente, e com eles a tarifação, desta forma também seria interessante uma proposta que detalhasse como a tarifação poderia ser feita com a determinação dinâmica do PHB.

Alguns outros trabalhos que interessam a minha área e nos quais poderíamos também utilizar a ferramenta de simulação para modelar e avaliar a proposta seriam os listados abaixo.

- Uma proposta para integração de padrões de telefonia sem fio.
- Uma proposta para integração de serviços via sistema de comunicação cabeado e sem fio para aplicação hospitalar e educacional.
- Estudo de QoS para aplicações WAP.

## BIBLIOGRAFIA

- [01] Amilo, J. M., Arriaga, F., *"Análisis Matemático Com Aplicaciones a La Computación,"* McGraw-Hill, 1987.
- [02] Avni, T., "Simulation Modeling Primer," *IEE Solutions*, pp. 38-41, September 1999.
- [03] Betini, R.C., Kameda, H., Nakanishi, T., "Comparison of Routing Algorithms in WAPSN by Simulation," *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 13, no. 1, pp. 29-34, 1993.
- [04] Betini, R. C., Kameda, H., Shimizu, K., "Routing and Flow-Control Mechanisms in Different WAPSN Topologies," *International Journal of Modelling and Simulation*, vol. 14, no. 3, pp.27-32, 1994.
- [05] Betini, R. C., Kameda, H., Shimizu, K., "Flow-Control and Routing Algorithms in WAPSN," *Computer Communications*, vol. 18, no. 5, pp. 345-356, 1995.
- [06] Bhatti, S. N., Crowcroft, J., "QoS-Sensitive Flows: Issues in IP Packet Handling," *IEEE Internet Computing*, pp. 48-57, July-August, 2000.
- [07] Breslau L., et al., "Advances in Network Simulation," *IEEE Computer*, pp. 59-67, May, 2000.
- [08] Emshoff, J. R., Sisson, R. L., *"Design and use of computer simulation models,"* London, Mac Millan, 1970.
- [09] Kapadia, N. H., Figueiredo, R. J., Fortes, J. A. B., "PUNCH: Web Portal For Running Tools," *IEEE Micro*, pp.38-47, May-June, 2000.
- [10] Kleinrock, L., *"Queueing Systems, Vol. I/II: Theory/Computer Applications,"* Wiley Interscience, New York, 1976.
- [11] McWherter, D. T., Sevy, J., Regli, W. C., "Building an IP Network Quality-of-Service Testbed," *IEEE Internet Computing*, July-August, 2000.
- [12] Metz, C., "IP over 2000: Where Have We Been and Where Are We Going?," *IEEE Internet Computing*, pp. 83-87, January-February, 2000.
- [13] Naylor, T. H., et al., *"Computer Simulation Techniques,"* New York, Willey, 1966.
- [14] Roberts, L., "Internet Founder Ponders the Web's Future," *IT Pro*, pp. 16-20, September-October, 2000.
- [15] Russel, E.C., *"Building Simulation Models with SIMSCRIPT II.5,"* CACI, Inc., Los Angeles, California, 1995.
- [16] Samuelli, H., "The Broadband Revolution," *IEEE Micro*, pp.16-26, March-April, 2000.
- [17] Shannon, R.E., *"Systems Simulation: the art and science,"* Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1975.
- [18] Simizu, T., *"Simulação em Computador,"* São Paulo, Edgard Blucher, 1975.
- [19] Trecordi, V., Verticale, G., "QoS Support for Per-Flow Services: POS vs. IP-over ATM," *IEEE Internet Computing*, pp. 58-64, July-August, 2000.
- [20] Varshney, U., "Recent Advances in Wired Networking," *IEEE Computer*, pp.107-109, April 2000.
- [21] Welch, P. D., *"The Statistical Analysis of Simulation Results,"* Computer Performance Modeling Handbook, Academic Press Inc., New York, 1983.
- [22] Yucesan, E., Jacobson, S. H., "The complexity of rapid learning in discrete event simulation," *IEE Transactions*, no. 29, pp. 783-790, 1997.