

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

Sandro Silva de Oliveira

**ANÁLISE DE TRÁFEGO NA INTEGRAÇÃO DE
REDES IP E ATM USANDO SIMULAÇÃO**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

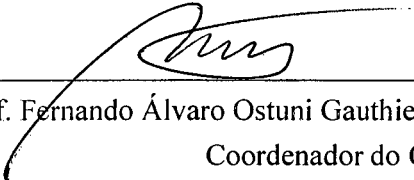
Orientador: Prof. Carlos Becker Westphall

Florianópolis, Outubro 2001

ANÁLISE DE TRÁFEGO NA INTEGRAÇÃO DE REDES IP E ATM USANDO SIMULAÇÃO

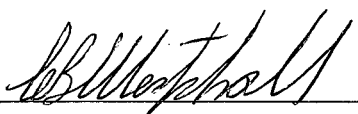
Sandro Silva de Oliveira

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do *Título de Mestre em Ciência da Computação*, Área de Concentração *Sistemas de Computação* e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação.

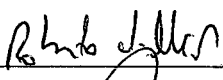


Prof. Fernando Álvaro Ostuni Gauthier, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora



Prof. Carlos Becker Westphall, Dr.
Orientador



Prof. Roberto Willrich, Dr.



Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.

“... é justamente a possibilidade de realizar um sonho
que torna a vida interessante...”

Dedico este trabalho com muito amor e carinho a meus queridos pais Rivaldo Pereira de Oliveira e Madalena A. Silva de Oliveira, que deram tudo de si, para me incentivar com um espírito de superação contínua, propiciando este caminho.

Aos meus irmãos Sergio, Marcelo e Simone pela compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela oportunidade e acompanhamento nos momentos difíceis, onde busquei na fé a solução para minhas dúvidas.

À minha família, pelo apoio, impulsão, colaboração e carinho que muito me ajudou para chegar ao fim deste trabalho. Obrigado, amo vocês!

Ao meu orientador Prof. Carlos Becker Westphall, amigo de todas as horas, pelo apoio e incentivo.

Aos colegas da Pós-Graduação e aos amigos que, durante esta caminhada, fizeram-se presentes participando dos acontecimentos e me tranquilizaram nos momentos difíceis. Alguns deles, Paulo, Maurílio, Márcia, André, Cristhian, Ivanise, Wagner, Luis Cáceres e Adriane. Também a estimada Tati, pela compreensão e pelos ótimos momentos que passamos juntos. A todos gostaria de poder agradecer individualmente.

À galera do “apê 303” – Luis Claudio, Antônio Carlos (Baiano), Marcos (Paulista) e a Vivi. As meninas do “apê 202” – Ana Cláudia, Josiane, Carol e Priscila pela compreensão e apoio nos momentos difíceis.

Aos meus professores, desde o jardim da infância até hoje.

Ao LRG, LPGCC e aos colegas da sala de estudo (baia).

Às secretárias Verinha e Val, pela compreensão e por sempre estarem do nosso lado.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS.....	XI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	XII
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÕES	3
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	4
2 INTERNET.....	5
2.1 INTRODUÇÃO.....	5
2.2 QUALIDADE DE SERVIÇO (QOS) NA INTERNET.....	5
2.2.1 <i>Serviços Integrados</i>	7
2.2.2 <i>Serviços Diferenciados</i>	9
2.2.3 <i>MPLS (Multi Protocol Label Switching)</i>	11
2.3 O PROTOCOLO DE RESERVA DE RECURSOS (RSVP).....	14
2.4 REQUISITOS ESSENCIAIS EM REDES COM QOS.....	16
2.4.1 <i>Atraso Fim-a-Fim</i>	16
2.4.2 <i>Variação do Atraso (Jitter)</i>	16
2.4.3 <i>Perda de Pacotes</i>	17
2.4.4 <i>Largura de Banda e Vazão</i>	17
3 ATM (ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE).....	18
3.1 INTRODUÇÃO.....	18
3.2 QUALIDADE DE SERVIÇO NO ATM.....	18
3.2.1 <i>Contrato de Serviço</i>	19
3.2.2 <i>Descritor de Tráfego (TD - Traffic Descriptor)</i>	19
3.3 TECNOLOGIAS PARA INTEGRAR IP/ATM.....	20
3.3.1 <i>IPOA (Internet Protocol Over ATM)</i>	21
3.3.1.1 <i>Arquitetura IPOA</i>	22

3.3.1.2	Estabelecimento de Conexão.....	23
3.3.1.3	QoS no IPOA.....	24
3.3.2	<i>Serviço de Emulação LAN (LAN Emulation)</i>	24
3.3.2.1	Componentes LANE	25
3.3.2.2	QoS em LANE	28
3.3.3	<i>MPOA (Multiprotocol Over ATM)</i>	29
3.3.3.1	Características do protocolo MPOA.....	29
3.3.3.2	Modelos de Endereçamento e Sinalização do MPOA.....	31
3.3.3.3	Componentes do MPOA	32
4	INTEGRAÇÃO DE REDES IP E ATM	33
4.1	INTRODUÇÃO.....	33
4.2	INTEGRANDO REDES IP COM ATM	33
4.3	ENDEREÇAMENTO IP/ATM.....	37
4.4	TRANSPORTE DE DADOS IP SOBRE ATM	40
4.4.1	<i>Suporte de Tráfego em Tempo-Real</i>	41
4.5	GERÊNCIA DA REDE IP/ATM.....	42
4.6	FORNECIMENTO E ACORDOS DE SERVIÇOS.....	42
4.7	GERÊNCIA DOS NÍVEIS DE SERVIÇOS.....	43
4.8	INTEGRANDO RSVP E ATM.....	44
4.8.1	<i>Plano do usuário</i>	46
4.8.2	<i>O Plano de Controle</i>	47
4.8.3	<i>Comentários de Alguns Trabalhos Relacionados a RSVP e ATM</i>	47
4.9	MPLS SOBRE ATM.....	49
4.9.1	<i>Protocolo de Gerenciamento de Comutação</i>	50
5	ANÁLISE DO DESEMPENHO DO TRÁFEGO TCP SOBRE ATM.....	52
5.1	INTRODUÇÃO.....	52
5.2	<i>OVERHEAD</i> DO PROTOCOLO ATM.....	53
5.3	EFEITOS DAS PERDAS DE CÉLULAS DO ATM NO TCP/IP	57
5.4	DELAY DA CONFIGURAÇÃO DE UMA CONEXÃO ATM.....	59
5.5	EFEITOS DO CONTROLE DA TAXA ABR NO DESEMPENHO DO TCP.....	61
5.6	MTU ATM GRANDE E DEADLOCK DO TCP	62
5.7	TCP SOBRE LINKS ATM DE LARGURA DE BANDA COM DELAY ALTO	63
6	ESTUDO DE CASO: ANÁLISE DE TRÁFEGO DE AMBIENTES TCP/IP SOBRE ATM USANDO SIMULAÇÃO	64
6.1	INTRODUÇÃO.....	64
6.2	COMENTÁRIOS SOBRE A INTEGRAÇÃO DO IP/ATM	64
6.3	FUNDAMENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	65
6.4	SELEÇÃO DA TÉCNICA DE AVALIAÇÃO.....	66
6.4.1	<i>Modelagem e Simulação de Cenários de Redes de Computadores</i>	67
6.5	A FERRAMENTA COMNET III	69
6.6	MODELAGEM E ANÁLISE DA PERFORMANCE DO PROTOCOLO LANE EM UM AMBIENTE TCP/IP SOBRE ATM	70
6.7	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SERVIÇOS ABR E CBR EM UM AMBIENTE ATM	74
6.8	MODELAGEM E ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA REDE TCP/IP SOBRE ATM.....	78

7	CONCLUSÕES	82
7.1	CONCLUSÕES.....	82
7.2	TRABALHOS FUTUROS.....	85
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	APÊNDICE 1 - MODELAGEM E ANÁLISE DA PERFORMANCE DO PROTOCOLO LANE EM UM AMBIENTE TCP/IP SOBRE ATM.....	92
	APÊNDICE 2 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SERVIÇOS ABR E CBR EM UM AMBIENTE ATM	97
	APÊNDICE 3 - MODELAGEM E ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA REDE TCP/IP SOBRE ATM.....	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – ROTEAMENTO E COMUTAÇÃO ASSOCIADAS A ROTAS.....	12
FIGURA 2.2 – FLUXO DE MENSAGENS PATH E RESV- CENÁRIO PONTO-MULTIPONTO. ...	15
FIGURA 3.1 - EXEMPLO DE ESTABELECIMENTO DE CONEXÃO EM IPOA	24
FIGURA 3.2 - ARQUITETURA DO CLIENTE LAN EMULATION.....	25
FIGURA 3.3 – ARQUITETURA DE UMA LANE	26
FIGURA 3.4 – CONEXÃO ENTRE CLIENTES DE 2 ELANS DISTINTAS USANDO MPOA.	30
FIGURA 4.1 - CONEXÃO DO USUÁRIO A REDE ATM	34
FIGURA 4.2 - MODELO OVERLAY E PEER [WERNER 97].....	35
FIGURA 4.3 - TRANSMISSÃO UNICAST.....	38
FIGURA 4.4 - TRANSMISSÃO MULTICAST	38
FIGURA 4.5 - TRANSMISSÃO BROADCAST	39
FIGURA 4.6 – TRÁFEGO REPLICADO EM UMA SESSÃO RSVP PARA VÁRIAS QoS.....	45
FIGURA 5.1 – DUAS LANs ETHERNET REMOTAS INTERCONECTADAS VIA ATM COM SERVIÇO ABR.	61
FIGURA 6.1 – DIAGRAMA DO PROCESSO DE ABORDAGEM E ETAPAS DO PROJETO	67
FIGURA 6.2 – DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO MÓDULO LANE-I.....	71
FIGURA 6.3 – MODELO DO PROTOCOLO LANE.....	72
FIGURA 6.4 – GRÁFICO DO DELAY DO ARP ATÉ O LES.....	74
FIGURA 6.5 – ACORDO DE NÍVEIS DE SERVIÇO PARA A CLASSE CBR.....	75
FIGURA 6.6 – MODELO PARA AVALIAÇÃO DE QoS USANDO SERVIÇOS ABR E CBR EM UMA REDE ATM.....	76
FIGURA 6.7 – NÚMERO DE MENSAGENS DE REQUISIÇÃO DE UM BD EM TRÂNSITO ATÉ O SW1ATM.....	77
FIGURA 6.8 – MODELO TCP/IP SOBRE ATM.....	79
FIGURA 6.9 – COMPORTAMENTO DO DELAY DO SERVIÇO DE VOZ NA REDE ETHERNET.....	80
FIGURA 6.10 – COMPORTAMENTO DO DELAY DO SERVIÇO DE VOZ NA REDE TOKEN RING	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – PARÂMETROS DE DESCRIÇÃO DE TRÁFEGO E DE QOS	19
TABELA 5.1 – A EFICIÊNCIA DA TRANSMISSÃO DOS VÁRIOS PROTOCOLOS	55
TABELA 5.2 – A EFICIÊNCIA DE TRANSMISSÃO DAS REDES IP SOBRE ATM.....	56
TABELA 6.1 - SELEÇÃO DA TÉCNICA DE AVALIAÇÃO.....	66
TABELA 6.2 - UTILIZAÇÃO DOS LINKS (CANALIS)	73
TABELA 6.3 - DELAY DOS PACOTES	73
TABELA 6.4 - UTILIZAÇÃO DOS LINKS (CANALIS)	76
TABELA 6.5 - DELAY DAS MENSAGENS	77
TABELA 6.6 – CONTADORES DO NÚMERO DE MENSAGENS RECEBIDAS	79
TABELA 6.7 – DADOS REFERENTES A UTILIZAÇÃO DOS CANALIS	79
TABELA 6.8 – DADOS REFERENTES AO DELAY DE MENSAGEM DA SESSÃO ORIGEM	80

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AAL	<i>ATM Adaption Layer</i>
ABR	<i>Available Bit Rate</i>
AP/ATM	<i>Point Access ATM</i>
ARP	<i>Address Resolution Protocol</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
ATMARP	<i>ATM Address Resolution Protocol</i>
BA	<i>Behavior Aggregate</i>
B-ISDN	<i>Broadband Integrated Services Network</i>
BUS	<i>Broadcast and Unknown Server</i>
CBQ	<i>Class-Based Queuing</i>
CBR	<i>Constant Bit Rate</i>
CLIP	<i>Classic IP</i>
DRP	<i>Dynamic Reservation Protocol</i>
DS	<i>Differentiated Services</i>
GSMF	<i>General Switching Management Protocol</i>
IETF	<i>Internet Engineering Task Force</i>
IIS	<i>Internet Integrated Services</i>
ILMI	<i>Interim Local Management Interface</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPOA	<i>IP Over ATM</i>
IPv4	<i>Internet Protocol version 4</i>
IPv6	<i>Internet Protocol version 6</i>
ISP	<i>Internet Service Provider</i>
ITU-T	<i>International Telecommunications Union - Telecommunication</i>

LANE	<i>LAN Emulation</i>
LANs	<i>Local Area Networks</i>
LEC	<i>LAN Emulation Client</i>
LECS	<i>LAN Emulation Configuration Server</i>
LES	<i>LAN Emulation Server</i>
LIJ	<i>Leaf Initiated Join</i>
LIS	<i>Logical IP Subnet</i>
LLC/SNAP	<i>Logical Link Control/SubNetwork Access Protocol</i>
LLDAL	<i>Link Layer Dependent Adaptation Layer</i>
MARS	<i>Multicast Address Resolution Server</i>
MPC	<i>MPOA Client</i>
MPLS	<i>Multi Protocol Label Switching</i>
MPOA	<i>Multi-Protocol Over ATM</i>
MPS	<i>MPOA Server</i>
MSS	<i>Maximum Segment Size</i>
MTU	<i>Maximum Transfer Unit</i>
NBMA	<i>Non-Broadcast Multi-Access</i>
NHRP	<i>Next Hop Resolution Protocol</i>
NS	<i>Network Simulator</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
OSPF	<i>Open Shortest Path First</i>
PDU	<i>Protocol Data Units</i>
PHBs	<i>Per Hop Behaviors</i>
PVCs	<i>Permanent Virtual Circuit</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
RFC	<i>Request for Comment</i>
RSVP	<i>Resource Reservation Protocol</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
SLM	<i>Service Level Management</i>
SLS	<i>Service Level Specification</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>
SRP	<i>Scalable Reservation Protocol</i>

SVC	<i>Switched Virtual Channel</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TD	<i>Traffic Descriptor</i>
TOS	<i>Type Of Service</i>
UBR	<i>Unspecified Bit Rate</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UNI	<i>User Network Interface</i>
VBR-nrt	<i>Variable Bit Rate – non-real time</i>
VBR-rt	<i>Variable Bit Rate – real time</i>
VC	<i>Virtual Circuit</i>
VCC	<i>Virtual Channel Connection</i>
VCI	<i>Virtual Channel Identifier</i>
VLANs	<i>Virtual LANs</i>
VoIP	<i>Voice over IP</i>
VPI	<i>Virtual Path Identifier</i>
VPN	<i>Virtual Private Network</i>
WAN	<i>Wide Area Networks</i>

RESUMO

Atualmente, com o crescimento da utilização da Internet e o surgimento de aplicações que requerem cada vez mais QoS (*Quality of Service*), a utilização do protocolo IP (*Internet Protocol*) tem aumentado de maneira exponencial. A comunidade da Internet tem trabalhado intensamente no IP a fim de permitir garantias de QoS e prestar diferentes tipos de serviços, mas as soluções padrão usadas para integrar o IP com outras tecnologias ainda estão limitadas ao serviço *best-effort* (melhor-esforço) fornecido pelo IP. Vários estudos vêm sendo realizados para solucionar esses problemas, e uma das propostas mais citadas é a utilização do protocolo IP sobre a tecnologia ATM.

Neste contexto é que se propõe desenvolver este trabalho que tem como objetivo analisar as técnicas e protocolos que realizam a integração, validação, descrição das funcionalidades e controle de tráfego de uma infraestrutura de rede IP/ATM. Pretende-se analisar o comportamento dos parâmetros de QoS (*Delay e Throughput*) provenientes da integração da tecnologia de redes IP/ATM. Os dados para esta análise deverão ser obtidos através do uso de técnicas de simulação (implementação de modelos de simulação). Também pretende-se descrever os problemas e possíveis soluções para a integração de tráfego IP à rede ATM com garantia de QoS, apontando questões importantes para esta integração, como: resolução de endereçamento, distribuição de dados *multicast*, roteamento e mapeamento de QoS.

ABSTRACT

Nowadays, with the growth of the use of the Internet and the appearance of applications that request QoS more and more (Quality of Service), the use of the protocol IP (Internet Protocol) it has been increasing in an exponential way. The community of the Internet has been working intensely in IP in order to allow guaranties of QoS and to render different types of services, but the solutions patterns used to integrate IP with other technologies are still limited to the service best-effort supplied by IP. Several studies come being accomplished to solve those problems, and one of the mentioned proposals is the use of the protocol IP on the technology ATM.

In this context it is that intends to develop this work that has as objective to analyze the techniques and protocols that accomplish the integration, validation, description of the functionalities and control of traffic of a net infrastructure IP/ATM. It intends to analyze the behavior of the parameters of QoS (Delay and Throughput) coming of the integration of the technology of networks IP/ATM. The data for this analysis should be obtained through the use of simulation techniques (implementation of simulation models). Also intends to describe the problems and possible solutions for the integration of traffic IP to the networks ATM with garante of QoS, aiming important subjects for this integration, as: address resolution, distribution of data multicast, switching and mapping of QoS.

1 Introdução

A necessidade de transmissão de voz, dados, e serviços de vídeo modificaram o alvo das tecnologias de redes. Em vez de fornecer um único tipo de serviço, as redes agora têm que se confrontar com a integração dos variados tipos de serviços e também prover Qualidade de Serviço (QoS) necessária para cada um dos serviços. O desenvolvimento do ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) começou com esta nova concepção, a necessidade de integração de serviços com qualidade.

A tecnologia ATM vem rapidamente desfrutando de uma considerável base instalada de WANs (*Wide Area Networks*) e redes LANs (*Local Area Networks*). Além disso, o ATM prevê o uso juntamente com outras tecnologias, o que aumenta ainda mais a sua popularidade. A tecnologia ATM possui a habilidade de entregar circuitos virtuais (VC) com uma QoS específica para serviços ponto-a-ponto e ponto-multiponto.

Tradicionalmente, a Internet provê somente uma classe de serviço, chamada *best-effort* (*melhor-esforço*), na qual nenhuma garantia de qualidade de serviço é especificada. Essa classe de serviço utiliza tipicamente em cada *hop* da rede o escalonamento de enfileiramento dos pacotes por ordem de chegada (*first-come, first-serve*), apresentando boa performance para aplicações como WWW e transferências de arquivos. Para prover um serviço com garantia de qualidade de serviço, como por exemplo, aplicações de tempo real, há necessidade de serem introduzidos novos mecanismos e protocolos, a fim de atender aos novos requisitos dessas aplicações.

Há uma expectativa de integração das redes de voz e dados em uma única rede de alta velocidade na qual aplicações vão se utilizar intensivamente de recursos multimídia. Dentre estas novas aplicações podemos citar: videoconferência, voz sobre

IP, telepresença, entre outras. Essas aplicações demandam controle de QoS e uma crescente capacidade de tráfego, implicando em consumo excessivo da largura de banda, recurso considerado escasso que deve ser compartilhado por todas essas aplicações. A tecnologia de QoS¹ de melhor-esforço, da Internet, transmite cada um dos pacotes de forma independente, onde a qualidade no envio do pacote depende da carga momentânea da rede. Não há qualquer tipo de sinalização para controle de tráfego, tanto para fonte como para o receptor. Não há disponibilidade de parâmetros para controle de QoS como, por exemplo, atraso de propagação (*delay*) ou taxa de transmissão (*throughput*).

A tecnologia de redes ATM foi escolhida e adotada pela indústria como a forma de implementar a infra-estrutura das redes RDSI-FL (Rede Digital de Serviços Integrados/Faixa Larga) sendo padronizada como meio de transmissão. Estes fatos transformaram a tecnologia ATM em um padrão de fato, que permite integrar em um só meio o envio de áudio, vídeo e dados. Nesse contexto, a implantação de novos serviços para a arquitetura IP pode se utilizar das facilidades de QoS oferecidas pelas redes ATM como meio de enlace, segundo o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Entretanto, a integração entre IP e ATM é potencialmente complexa. Existem diferenças de operação entre as duas arquiteturas, principalmente, no modo de oferecer QoS (modelos de serviços) e gerenciamento de conexões. Vários estudos vêm sendo realizados para solucionar estes problemas, e uma das propostas mais citadas é a utilização do protocolo IP sobre a tecnologia ATM.

O IETF (*Internet Engineering Task Force*) tem trabalhado para integrar os serviços assim chamados: estrutura integrada de serviços (*IntServ*) [BRADEN 94] e o protocolo de reserva de recursos (RSVP – *Resource Reservation Protocol*) [BRADEN 97]. Além disso, mais trabalhos estão sendo direcionados para propiciar melhorias na integração destes serviços e na escalabilidade dos mecanismos de reserva. O objetivo final da IETF, do ITU-T (*International Telecommunications Union - Telecommunication*) e do ATM Forum é projetar mecanismos para permitir o uso de QoS do ATM no IP, de maneira que permita uma distribuição rápida e com vários protocolos alternativos de reserva, com melhores propriedades de escalabilidade.

¹ Qualidade de Serviço (QoS) pode ser definida como a capacidade da rede prover serviço de encaminhamento de dados de forma consistente e previsível [FERGUSON 98].

Diversos artigos dão uma visão técnica geral, buscando as soluções para as redes de serviços integrados². Baseado nos artigos referenciados e trabalhos correlatos como o de *Rodrigues* [RODRIGUES 99] e *Pereira* [PEREIRA 00] é que se pretende analisar o comportamento dos índices de QoS provenientes da tecnologia de redes IP/ATM, baseado em uma análise de desempenho dos principais parâmetros de QoS de uma rede IP/ATM. Os dados para esta análise deverão ser obtidos através do uso de técnicas de simulação, usando a ferramenta COMNET III [COMNET 98]. Serão apresentados 3 modelos de simulação: o primeiro modelo permite analisar desempenho de uma LANE (*LAN Emulation*), um segundo para demonstrar o comportamento das classes de serviço ABR e CBR em uma rede ATM e o terceiro permite analisar o tráfego de uma rede TCP/IP sobre ATM. Também serão descritos os problemas e possíveis soluções para a integração de tráfego IP ao ATM com garantia de QoS, apontando questões importantes para esta integração, como: resolução de endereçamento, distribuição de dados *multicast*, roteamento e mapeamento de QoS.

1.1 Motivações

- O surgimento de novas aplicações na Internet que requerem altos níveis de QoS;
- Difusão cada vez mais crescente da tecnologia IP sobre ATM e suas aplicações;
- Estudo de QoS fornecido pela integração das redes IP com ATM.

1.2 Objetivos

- Identificar as tecnologias atuais que visam integrar o IP com o ATM;
- Analisar o comportamento de tráfego de dados usando um ambiente de redes IP/ATM;
- Analisar o comportamento da QoS de algumas aplicações considerando o tráfego no uso do IP sobre o ATM;
- Proporcionar um melhor aproveitamento proveniente da integração destas duas tecnologias de rede (IP e ATM), visando usufruir o máximo das vantagens fornecidas por esta integração.

² Para maiores informações consultar [OLIVEIRA 00], [BERGER 98], [BERNET 00], [BRADEN 94], [PAGANI 00] e [ABELÉM 01].

1.3 Organização do Trabalho

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

No capítulo 2 apresenta-se uma introdução à tecnologia Internet, mais especificamente dos conceitos do protocolo de rede IP, tratando de conceitos relacionados à QoS, tipo de serviço oferecido pela Internet tradicional e tecnologias que estão sendo desenvolvidas para melhorar a QoS na Internet.

O capítulo 3 apresenta uma introdução dos conceitos relacionados à redes ATM, evidenciando as suas vantagens gerais e, especialmente, o fornecimento de QoS para as aplicações. Também são apresentadas formas de integração de redes IP com ATM.

No próximo capítulo, o capítulo 4, apresenta-se o estado da arte relacionado à integração de redes IP sobre ATM, seguido de verificações e parâmetros que devem ser considerados para integrar estas duas tecnologias, tais como: protocolos, sinalização, controle de tráfego, níveis de serviços e gerência. Além disso, serão analisados os problemas que aparecem em uma aplicação quando é feita uma tentativa de usar QoS em diferentes cenários de redes heterogêneas. Neste capítulo também são apresentados alguns trabalhos correlatos ao tema de integração de redes IP e ATM com QoS.

No capítulo 5, apresentam-se os principais problemas relacionados ao desempenho das redes TCP/IP sobre ATM. Estes problemas influenciam diretamente no *throughput* e *delay* de um ambiente de rede TCP/IP sobre ATM. Serão discutidas soluções para os problemas de desempenho deste ambiente.

No capítulo 6 é apresentado um estudo de caso envolvendo 3 modelos de simulação (usando a ferramenta COMNET III). Serão apresentados 3 modelos de simulação: o primeiro modelo permite analisar o desempenho de uma LANE (*LAN Emulation*), um segundo modelo para demonstrar o comportamento das classes de serviço ABR e CBR em uma rede ATM e o terceiro modelo permite analisar o tráfego de uma rede TCP/IP sobre ATM. Em cada um destes modelos é descrito o funcionamento do modelo e os resultados gerados por cada um deles.

Por fim, no capítulo 7, serão apresentadas as conclusões e recomendações futuras para este trabalho.

2 Internet

2.1 Introdução

A Internet fornece às aplicações um serviço único do tipo melhor-esforço (*best-effort*). Sendo assim, aplicações tempo-real e aplicações não tempo-real recebem o mesmo tratamento no nível de comunicação. Neste capítulo, apresenta-se algumas propostas de modificação desta arquitetura, visando incluir o conceito de QoS fornecendo classes de serviços diferenciados, satisfazendo assim os diferentes níveis de QoS exigidas pelas aplicações. A seguir, apresenta-se aspectos relacionados a QoS da rede Internet, bem como as novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas para melhorar a QoS em redes IP. Mais informações referente ao funcionamento das redes IP encontram-se em [TANENBAUM 96].

2.2 Qualidade de Serviço (QoS) na Internet

A QoS nas redes IP é um aspecto operacional fundamental para o desempenho fim-a-fim das novas aplicações (como voz sobre IP, multimídia em geral). A obtenção de uma QoS adequada é um requisito de operação da rede e seus componentes para viabilizar a operação com qualidade de uma aplicação [MARTINS 99]. QoS é um requisito das aplicações para a qual exige-se que determinados parâmetros (atrasos, vazão, perdas) estejam dentro dos limites bem definidos.

Como mencionado anteriormente, a QoS é garantida pela rede, seus componentes e equipamentos utilizados. Do ponto de vista dos programas de aplicação, a QoS é tipicamente expressa e solicitada em termos de uma “Solicitação de Serviço”

ou “Contrato de Serviço”. A solicitação de QoS da aplicação é denominada tipicamente de SLA (*Service Level Agreement*).

O SLA deve definir claramente quais requisitos devem ser garantidos para que as aplicações possam ser executadas com qualidade. Um exemplo típico de SLA para uma aplicação de voz sobre IP (VoIP – *Voice over IP*) com algumas centenas de canais de voz simultâneos numa rede IP WAN poderia ser:

- Vazão ≥ 2 Mbps
- Atraso ≤ 250 msec
- Disponibilidade $\geq 99,5\%$

Uma vez que a rede garanta este SLA, tem-se como resultado que a aplicação VoIP em questão poderá ser executada, garantindo a qualidade de voz prevista para os seus usuários, comunicando-se simultaneamente através da rede IP.

Do ponto de vista dos usuários, tem-se normalmente que a qualidade obtida de uma aplicação pode ser variável e, a qualquer momento, pode ser alterada ou ajustada (para melhor ou pior qualidade). Por exemplo, pode-se assistir a um vídeo com uma qualidade de 32 fps (*frames per seconds*) ou 4 fps e, fundamentalmente, isto depende da qualidade de vídeo esperada pelo usuário final [MARTINS 99].

A QoS necessária às aplicações é definida baseada no SLA. Na especificação dos SLAs são definidos os parâmetros de QoS e alguns dos mais comumente utilizados são [MARTINS 99]: vazão (banda), atraso (latência), *jitter* (retardo), taxa de perdas e erros e disponibilidade.

Atualmente, existem algumas propostas projetadas para prover um conjunto de extensões ao modelo de entrega de tráfego melhor-esforço utilizado na Internet, na tentativa de fornecer uma melhor QoS. Em essência, estas propostas foram projetadas para dar tratamento especial para certos tipos de tráfego e prover um mecanismo para que as aplicações possam escolher entre múltiplos níveis de serviços de entrega para seu tráfego.

Nesta seção serão abordadas algumas destas propostas para prover QoS na Internet, tais como: modelos de Serviços Integrados/RSVP, Serviços Diferenciados e MPLS (*Multi Protocol Label Switching*). Existem outros mecanismos que não serão

discutidos aqui, como: a engenharia de tráfego [AWDUCHE 98], [AWDUCHE 98B] e o roteamento baseado em restrições [CRAWLEY 98], [APOSTOLOPOULOS 99].

2.2.1 Serviços Integrados

Serviços Integrados (*Integrated Services ou IntServ*) é baseado na reserva de recursos. Para aplicações tempo real, antes dos dados serem transmitidos, as aplicações devem primeiro configurar caminhos e reservar recursos. O RSVP (que será descrito na Seção 2.3) é um protocolo de sinalização para configurar estes caminhos e reservar recursos.

O modelo de Serviços Integrados propõe duas classes de serviço em adição ao Serviço Melhor-esforço:

- **Serviço Garantido** (*Guaranteed Service*) [RFC 2212]: fornece limites (matematicamente prováveis) em termos de atrasos de enfileiramento que os pacotes sofrerão nos roteadores. Ele garante tanto o atraso quanto a taxa de bits. Basicamente uma sessão requisitando Serviço Garantido está requerendo que os bits em seus pacotes tenham uma taxa de transferência de bits garantida. Note que este serviço não tenta minimizar a variação de atraso, ele controla o atraso máximo de enfileiramento. Para este tipo de serviço, todos os nós intermediários devem implementar os serviços garantidos.
- **Serviço de Carga Controlada** (*Controlled Load Service*) [RFC 2211]: uma sessão requerendo tal serviço receberá uma qualidade de serviço muito próxima da qualidade que um fluxo poderia receber de uma rede não sobrecarregada. Em outras palavras, a sessão pode assumir que uma “percentagem muito alta” de seus pacotes passará com sucesso através do roteador sem serem cortados e com um atraso de enfileiramento muito próximo a zero. Note que o Serviço de Carga Controlada não fornece garantias quantitativas acerca do desempenho – ele não especifica o que constitui uma “percentagem muito alta” de pacotes nem que qualidade de serviço aproximada será fornecida por um elemento de rede não sobrecarregado. Este tipo de serviço é dirigido para aplicações tempo-real

adaptativas que estão sendo desenvolvidas hoje na Internet. Estas aplicações executam razoavelmente bem quando a rede não é sobrecarregada, mas elas se degradam rapidamente quando a rede se torna congestionada.

No modelo *IntServ*, os roteadores devem ser capazes de reservar recursos a fim de fornecerem QoS especial para fluxos de pacotes específicos do usuário. Neste caso, o estado específico dos fluxos deve ser mantido pelos roteadores.

Na Internet de hoje, a retransmissão IP é completamente igualitária: todos os pacotes recebem a mesma qualidade de serviço e os pacotes são retransmitidos usando uma fila FIFO.

Para *IntServ*, um roteador deve implementar uma QoS apropriada para cada fluxo, de acordo com o modelo de serviço. A função do roteador que cria diferentes qualidades de serviço é chamada de controle de tráfego.

A arquitetura Serviços Integrados/RSVP representa uma mudança fundamental na arquitetura atual da Internet, que é baseada no conceito de que todas as informações de estado relacionadas aos fluxos deveriam estar nos sistemas finais. Neste sentido, existem alguns problemas com a arquitetura Serviços Integrados:

- O montante de informações de estado aumenta proporcionalmente ao número de fluxos. Isto causa uma sobrecarga de armazenamento e processamento nos roteadores. Portanto esta arquitetura não é escalável;
- Os requisitos nos roteadores são altos: todos os roteadores devem implementar RSVP, controle de admissão, classificação e escalonamento de pacotes;
- Para Serviço Garantido, toda a rede deve suportar *IntServ*. Uma instalação gradativa de Serviço de Carga Controlada é possível pelo emprego de funcionalidades do RSVP nos nós gargalos de um domínio e no tunelando das mensagens RSVP para outras partes do mesmo.

IntServ/RSVP não é muito adequado às aplicações do tipo navegadores WWW, onde a duração de um fluxo típico é apenas de poucos pacotes. A sobrecarga causada

pela sinalização RSVP poderia facilmente deteriorar o desempenho da rede percebida pela aplicação.

2.2.2 Serviços Diferenciados

Devido às dificuldades de implementar e utilizar Serviços Integrados/RSVP, os Serviços Diferenciados (DS - *Differentiated Services ou DiffServ*) foram introduzidos. O DS é usado na Internet2. Neste modelo, os pacotes são marcados diferentemente para criar várias classes de pacotes. Pacotes de classes diferentes recebem diferentes serviços.

A meta do *DiffServ* é definir métodos relativamente simples (comparados a *IntServ*) para prover classes diferenciadas de serviço para o tráfego na Internet. O mecanismo é que um pequeno padrão de bits, no campo *TOS (Type Of Service)* do IPv4 ou *Class* do IPv6, é usado para marcar um pacote para que ele receba um tratamento de encaminhamento particular, ou PHBs (*Per-Hop Behaviors*), em cada nó da rede. PHB é o comportamento observável externamente de um pacote em um roteador suportando DS.

Marcando os campos DS dos pacotes diferentemente, e manipulando pacotes baseados nos seus campos DS, várias classes de Serviços Diferenciados podem ser criadas. Portanto, Serviços Diferenciados é essencialmente um esquema de prioridades.

A fim de que os clientes recebam Serviços Diferenciados de seus Provedores de Serviço Internet (*ISP – Internet Service Provider*), eles devem firmar um Acordo de Nível de Serviço (SLA) com seu ISP. Vários aspectos dos SLAs (como termos de pagamento) estão fora do escopo de padronização; é a Especificação do Nível de Serviço (*SLS – Service Level Specification*) que especifica as classes de serviços suportados e o montante de tráfego permitido em cada classe. Um SLA pode ser estático ou dinâmico. SLAs estáticos são negociados mensalmente, anualmente, etc. Clientes com SLA dinâmicos devem usar um protocolo de sinalização (por exemplo, o RSVP) para pedir por serviços sob demanda.

Os clientes podem marcar os campos DS de pacotes para indicar o serviço desejado ou estes campos são marcados pelo roteador que liga o cliente à rede ISP. No ingresso às redes ISP, os pacotes são classificados, policiados e controlados para torná-

los conformes a algum perfil de tráfego pré-instalado. As regras de classificação, policiamento e entradas usadas nos roteadores de ingresso são derivados a partir dos SLAs.

Um exemplo simples de perfil de tráfego poderia ser: medir o fluxo de pacotes do endereço IP *a.b.c.d* e se sua taxa ficar abaixo de 200 kbps, atribua ao byte-DS o valor X, senão atribua o valor Y. Se a taxa excede 600 kbps, corte os bytes excedentes. Os perfis são configurados pelo operador de acordo com o SLA. Como os perfis são fornecidos (configuração manual ou sinalização) está fora do escopo do *diffserv*. Dentro da rede (nos roteadores internos ao domínio), o byte DS é usado para determinar como os pacotes são tratados. O tratamento, também chamado de comportamento agregado, pode incluir diferentes prioridades envolvendo atraso de enfileiramento (escalonamento), diferentes prioridades na decisão de descarte na sobrecarga de filas (gerenciamento de fila), seleção de rota, entre outros.

É de responsabilidade dos ISPs decidir que serviços fornecer. Os seguintes serviços podem ser fornecidos:

- *Serviço Premium*, para aplicações requerendo serviço de pequeno atraso e pequena variação de atraso. Neste caso, o usuário negocia com seu ISP a máxima largura de banda para enviar pacotes através da rede e as alocações são feitas em termos de taxa de pico. Uma desvantagem é o fraco suporte a tráfegos em rajada e o fato de que o usuário paga mesmo quando não usa completamente a largura de banda.
- *Serviço Assegurado*, para aplicações requerendo melhor confiabilidade que Serviço Melhor-esforço. Este serviço não garante a largura de banda como o Serviço *Premium*, mas fornece uma alta probabilidade de que o ISP transfere os pacotes marcados com alta prioridade confiavelmente. Ele não foi completamente definido, devendo oferecer um serviço equiparável ao Serviço de Carga Controlada do *IntServ*;
- *Serviço Olympic*, que fornece três tipos de serviços: Ouro, Prata e Bronze, que reduz em qualidade.

Serviços Diferenciados são significativamente diferentes de Serviços Integrados:

- Há apenas um número limitado de classes de serviço indicados no campo DS. Desde que o serviço é alocado na granularidade de uma classe, o conjunto de informações de estado é proporcional apenas ao número de classes e não proporcional ao número de fluxos. Serviços Diferenciados são, portanto, mais escaláveis do que Serviços Integrados.
- As operações de classificação, marcação, policiamento e controle são apenas necessárias nas fronteiras das redes. Roteadores ISP internos necessitam apenas implementar a classificação Comportamento Agregado (*BA - Behavior Aggregate*), que é uma classificação baseada apenas no byte DS. Portanto, Serviços Diferenciados são mais fáceis de implementar e usar.

No modelo de Serviços Diferenciados, um serviço assegurado pode ser fornecido por um sistema que suporta parcialmente os Serviços Diferenciados. Roteadores que não suportam Serviços Diferenciados simplesmente ignoram os campos DS dos pacotes e fornecem aos pacotes Serviço Assegurado ou Serviço Melhor-esforço. Pacotes de Serviço Assegurado têm menos probabilidade de serem perdidos em roteadores compatíveis com DS, portanto, o desempenho total do tráfego Serviço Assegurado será melhor que o tráfego Melhor-Esforço.

2.2.3 MPLS (Multi Protocol Label Switching)

O novo modelo de comutação MPLS (*MultiProtocol Label Switching*), também chamado de modelo de comutação por rótulos [ROSEN 99] é proposto pela IETF para simplificar a adaptação IP/ATM de forma a utilizar os protocolos da camada de rede para controlar diretamente a comutação sem utilizar a complexa sinalização ATM. Desta forma, a comutação por rótulos surge como uma possível solução para integrar a arquitetura IP com a tecnologia ATM de modo eficiente. Porém, em fase de padronização, o modelo apresenta alguns problemas como: escassez de rótulos (espaço limitado para VPI/VCI), falta de suporte ao controle de QoS e instabilidade na mudança de padrões de tráfego.

A comutação por rótulos de roteamento (MPLS – *MultiProtocol Label Switching*), conforme a *Figura 2.1*, tem como objetivo integrar a funcionalidade e flexibilidade da camada de rede (utilizando informações de roteamento) com a agilidade e a capacidade de tráfego da camada de enlace (empregando comutadores de alta velocidade) [PAGANI 00].

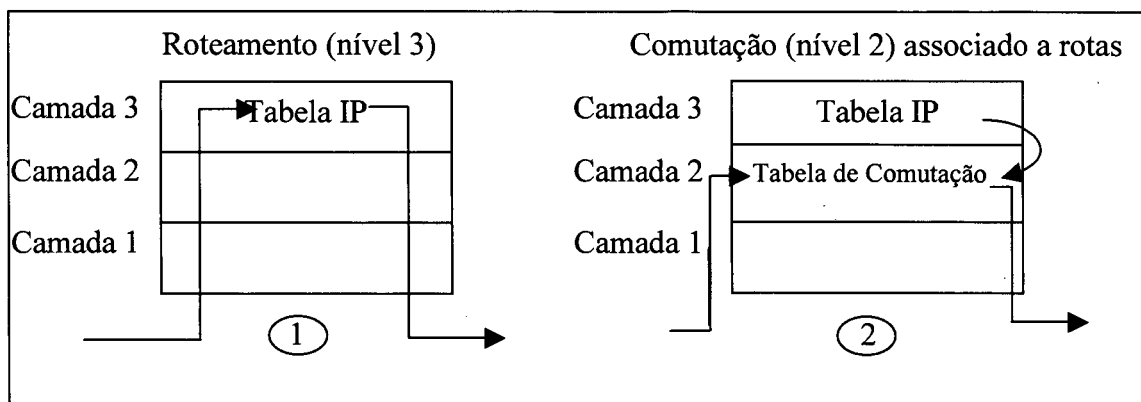


Figura 2.1 – Roteamento e comutação associadas a rotas

As informações de roteamento da camada de rede são associadas a identificadores nos quadros/células de enlace nos quais os pacotes de um fluxo são encapsulados. Denominados de rótulos, os identificadores de fluxo, são números inteiros de tamanho fixo. Os rótulos são codificados após ou no próprio cabeçalho de enlace e usados como índices nas tabelas de comutação [PAGANI 00]. Os rótulos comutam diretamente as células para suas rotas definidas pela camada de rede. Os pacotes podem ser enviados diretamente no nível de enlace através da rede de comutadores sem sofrer processamento na camada de rede. Assim, o encaminhamento de pacotes fica completamente independente da função de determinação de rotas.

Desta forma, as rotas são determinadas por consultas simples e rápidas às tabelas de comutação indexadas pelos rótulos, ao contrário do roteamento tradicional, onde as consultas são operações complexas. A consulta a essas tabelas resulta na rota pela qual os fluxos de rede devem ser enviados. Esse procedimento evita o retardo de análise dos cabeçalhos dos pacotes no nível de rede.

Um determinado pacote de um protocolo sem conexão da camada de rede viaja de um roteador para outro, cada roteador toma uma decisão de retransmissão independente para cada pacote. Neste caso, cada roteador analisa o cabeçalho do pacote,

e executa um algoritmo de roteamento na camada de rede (baseado na análise dos cabeçalhos dos pacotes e dos resultados do algoritmo de roteamento).

Os cabeçalhos dos pacotes contêm consideravelmente mais informações do que é necessário para escolher o próximo nó na rede. A escolha do próximo nó, entretanto, pode ser analisado e composto por duas funções [CALLON 97]. A primeira função classifica todo o conjunto de possíveis pacotes em um conjunto de “Classes de Equivalência de Retransmissão (FECs)”. O segundo identifica cada FEC para o próximo nó da rede. Diferentes pacotes mapeados em um mesmo FEC e que viajam para um mesmo nó específico, seguem o mesmo caminho (ou se algum tipo de roteamento multi-caminho está sendo usado, eles seguirão o caminho de um conjunto de caminhos associados ao FEC).

No MPLS, a atribuição de um pacote para um determinado FEC é feita uma vez, quando o pacote entra na rede. O FEC para o pacote é atribuído e codificado como um valor de tamanho fixo conhecido como “rótulo” (*label*) no IPv4 o campo *Identification*, e no IPv6 o campo *Source Address*. Quando um pacote é redirecionado para o próximo nó, o rótulo é enviado juntamente com o pacote.

Nos nós subseqüentes, não há mais a análise do cabeçalho do pacote da camada de rede. O rótulo é usado como um índice na tabela que especifica o próximo nó, e um novo rótulo é atribuído. O rótulo antigo é trocado pelo novo e o pacote é redirecionado para o próximo nó.

No paradigma de redirecionamento do MPLS, uma vez que é atribuído um FEC a um pacote, nenhuma análise adicional é feita pelos roteadores subseqüentes; todo redirecionamento é dirigido pelos rótulos.

Alguns roteadores analisam o cabeçalho do pacote da camada da rede não somente para escolher o próximo nó do pacote, mas também para determinar a “prioridade” do pacote ou a “classe de serviço” determinando assim certos cuidados com a transmissão do pacote. Podendo aplicar diferentes procedimentos de descarte para diferentes pacotes. O MPLS permite (mas não requer) que a prioridade ou a classe de serviço seja deduzida totalmente ou parcialmente através do rótulo. Neste caso, deve ser dito que o rótulo representa a combinação de um FEC e uma prioridade ou classe de serviço.

2.3 O Protocolo de Reserva de Recursos (RSVP)

O protocolo RSVP é basicamente um protocolo de sinalização de reserva de qualidade de serviço, designado para suportar serviços integrados sobre a Internet. Ele é usado por *hosts* e outros elementos da rede para requisitar à rede uma específica qualidade de serviço que atenda aos requisitos de uma aplicação fim-a-fim. O RSVP também é usado por roteadores para propagar requisições de QoS, estabelecer e manter estado de reserva nos nós ao longo da rota para prover a QoS requerida. Ele foi desenvolvido para facilitar o uso de serviços integrados na Internet. O RSVP provê um procedimento, iniciado pelo receptor, para a reserva de recursos para fluxos de dados com vários destinos (*multicast*) ou com um destino (*unicast*), com propriedades de escalabilidade e robustez.

O RSVP e os serviços integrados introduziram a concepção de sinalização para os roteadores. Em vez de chamada, o elemento básico do modelo de serviços integrado é o fluxo, que é uma seqüência dos pacotes de uma fonte particular para um destino que passam por políticas de roteamento e manipulação.

O RSVP permite que as aplicações reservem recursos da rede TCP/IP. Ele opera no topo do IP (IPv4 ou IPv6) e é usado em ambos *hosts* e roteadores para reserva de recursos em um fluxo unidirecional. Um pedido de reserva RSVP contém um descritor de tráfego que caracteriza o pedido de reserva e especifica o perfil do tráfego.

A qualidade de serviço é implementada para um fluxo de dados em particular por mecanismos coletivamente chamados de “controle de tráfego”. Estes mecanismos incluem: classificador de pacotes, controle de admissão e o escalonador de pacotes ou algum outro mecanismo dependente da camada de enlace de dados, que determinam quando pacotes em particular devem ser remetidos para a rede. O classificador de pacotes determina a classe de QoS, e a possível rota para cada pacote. Para cada interface de saída de rede, o escalonador de pacotes, ou outro mecanismo dependente da tecnologia de enlace de rede usada, garante a qualidade de serviço fixada para cada fluxo. A seguir apresentam-se os principais atributos do RSVP [ALEIXO 98]:

- RSVP faz reserva de recursos para fluxos *unicast* e aplicações *multicast*, adaptando-se dinamicamente as mudanças nos membros de um

determinado grupo *multicast* (Figura 2.2), da mesma forma como nas mudanças de rotas;

- RSVP é *simplex*, só faz reservas para fluxo de dados em uma direção;
- RSVP é orientado ao receptor, pois é este que inicia e mantém a reserva de recursos usada por um determinado fluxo;
- RSVP mantém um estado “*soft*” nos roteadores e demais máquinas da rede, provendo suporte para mudanças dinâmicas nos membros de um grupo *multicast* e adaptação automática a mudanças na estrutura de roteamento;
- Provê uma série de modelos ou estilos de reservas para atender a uma grande variedade de aplicações.

Este protocolo é projetado para ambas comunicações *unicast* e *multicast* em uma rede heterogênea, onde os receptores podem ter características diferentes e o *multicast* ser dinâmico. Estas exigências conduzem a uma solução, onde o receptor é responsável por iniciar a reserva do recurso.

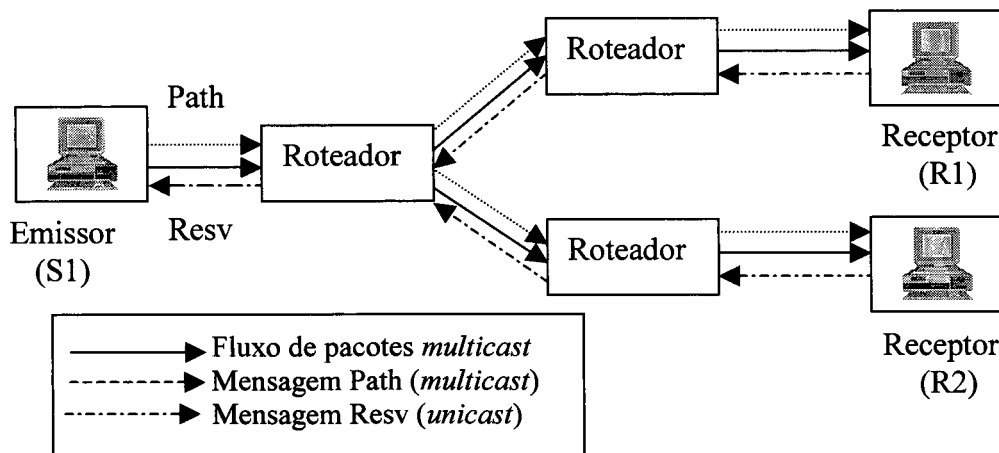


Figura 2.2 – Fluxo de Mensagens PATH e RESV- cenário ponto-multiponto.

O RSVP assume que o grupo do *multicast* já existe. Como indicado na Figura 2.2, o emissor S1 envia uma mensagem PATH para o grupo *multicast* anunciando as características do fluxo que está sendo enviado. Quando os receptores, R1 e R2, querem fazer uma reserva, eles enviam uma mensagem RESV de volta ao longo do caminho reverso previamente instalado pelas mensagens PATH. Ao processar uma mensagem de RESV, cada roteador RSVP cria um estado de reserva, ao longo do caminho do

receptor, para o emissor se a verificação do controle da admissão for bem sucedida. Em um cenário *multicast*, há nós que receberão duas ou mais mensagens RESV de diferentes ramificações da árvore multiponto. Estes nós concatenam as reservas recebidas e enviam somente um pedido de reserva, unindo todas as reservas recebidas.

O RSVP representa a reserva de fluxo *soft state*. Quando uma reserva é feita, ela deve ser periodicamente renovada. A vantagem de usar um *soft state* para reservas é que a rota da conexão pode ser mudada dinamicamente dentro da rede e a reserva restabelecida quando as novas mensagens PATH e RESV forem passar na nova rota. No capítulo 4 é apresentado um comentário sobre os protocolos RSVP e o MPLS sobre a tecnologia ATM (seções 4.8 e 4.9 respectivamente).

2.4 Requisitos Essenciais em Redes com QoS

Em [MELO 01] apresenta-se um conjunto de requisitos considerados essenciais para redes que implementam mecanismos de QoS. Os quais são descritos a seguir:

2.4.1 Atraso Fim-a-Fim

É o tempo entre o envio de uma mensagem por um nó e a recepção desta mensagem pelo nó destino. Este atraso ocorre no caminho de transmissão ou em um dispositivo no caminho de transmissão. Em um roteador, o atraso é dado pelo montante de tempo entre a recepção do pacote e a sua transmissão.

2.4.2 Variação do Atraso (Jitter)

É uma distorção que acontece, por exemplo, quando fluxos de voz ou vídeo são transmitidos em uma rede, e os pacotes não chegam no seu destino dentro da ordem sucessiva ou em uma determinada cadência. Ou seja, eles variam em termos de tempo de atraso. Em redes de pacotes, *jitter* é uma distorção dos tempos de chegada entre pacotes comparados aos tempos originais de transmissão entre pacotes. Esta distorção é particularmente danosa ao tráfego multimídia. Neste caso pode acontecer, que dados de áudio ou vídeo tenham uma qualidade distorcida na recepção.

2.4.3 Perda de Pacotes

A perda de pacotes representa o número de pacotes que foram transmitidos na rede, mas não alcançaram seu destino em um determinado período de tempo. Como exemplo, tem-se que a média mensal de perda de pacotes total em uma rede deve ser menor que 1%.

2.4.4 Largura de Banda e Vazão

A largura de banda é uma medida de capacidade de transmissão de dados, normalmente expressa em kilobits por segundo (Kbps) ou megabits por segundo (Mbps). A largura de banda indica a capacidade máxima de transmissão teórica de uma conexão, mas na medida em que a utilização se aproxima da largura de banda teórica máxima, fatores negativos como atraso de transmissão podem causar deterioração em qualidade.

A vazão é o montante de tráfego de dados movidos de um nó de rede para outro em um dado período de tempo, também expresso em Kbps ou Mbps.

No próximo capítulo, descreve-se os principais conceitos relacionados à QoS em redes ATM. Também são apresentados os protocolos que permitem integrar IP e ATM.

3 ATM (Asynchronous Transfer Mode)

3.1 Introdução

O modo de transmissão assíncrono (*Asynchronous Transfer Mode*) é uma tecnologia baseada na transmissão de pequenos pacotes, de tamanho fixo, denominadas células. Estas células são transmitidas através de conexões de circuitos virtuais, sendo que sua entrega e comutação são feitas pela rede, baseada na informação de seu cabeçalho. Esta tecnologia adapta-se facilmente às exigências de um grande número de tráfegos diferenciados, suportando diferentes tipos de serviços [TANENBAUM 96]. A tecnologia ATM foi escolhida de forma a dar suporte à implantação da Rede Digital de Serviços Integrados - Faixa Larga RDSI-FL (*Broadband Integrated Services Network - B-ISDN*).

As células do ATM possuem um tamanho fixo de 53 octetos (5 octetos de cabeçalho e 48 octetos de informação). O tamanho reduzido da célula ATM fornece várias vantagens. Quanto maior o tamanho da célula maior o tempo de empacotamento, causando desta maneira, maior atraso de transferência e afetando principalmente, serviços sensíveis ao tempo de atraso, como vídeo e áudio. Para tais serviços, o alongamento do tempo de atraso provoca uma queda substancial da qualidade, ocasionando distorções e eco, por exemplo, para a transmissão de voz. Para obter mais informações referentes às redes ATM consulte [TANENBAUM 96].

3.2 Qualidade de Serviço no ATM

Os parâmetros de qualidade de serviço são negociados na fase de estabelecimento de uma conexão, muito embora os procedimentos de sinalização permitam que a negociação possa ser feita depois do estabelecimento.

3.2.1 Contrato de Serviço

O tipo de serviço a ser fornecido pela conexão no ATM é estabelecido através de um contrato que inclui um descritor da conexão, que informa as características do tráfego gerado e uma especificação de QoS para cada sentido. Abaixo é mostrada uma tabela com os parâmetros de descrição de tráfego e de QoS que podem ou não ser negociados no momento que é estabelecida a conexão.

Tabela 3.1 – Parâmetros de descrição de tráfego e de QoS

Tipo	Parâmetro	Significado	
Tráfego	PCR	<i>Peak Cell Rate</i>	Taxa de pico de transmissão
	SCR	<i>Sustained Cell Rate</i>	Taxa média de transmissão a longo prazo
	MCR	<i>Minimum Cell Rate</i>	Taxa mínima aceitável de transmissão
	MBS	<i>Maximum Burst Size</i>	Tamanho máximo da rajada
	CDVT	<i>Cell Delay Variance Tolerance</i>	Máximo de atraso aceitável
QoS Negociáveis	CDV	<i>Cell Delay Variation</i>	Varição no tempo de entrega das células
	CTD	<i>Cell Transfer Delay</i>	Tempo de entrega (médio e máximo)
	CLR	<i>Cell Loss Ratio</i>	Fração de células perdidas, entregues com atraso
QoS Não-Negociáveis	CER	<i>Cell Error Ratio</i>	Fração de células com erro
	SECBR	<i>Severely-Errored Cell Block Ratio</i>	Fração de blocos com erro
	CMR	<i>Cell Misinsertion Ratio</i>	Fração de células entregues no destino errado

3.2.2 Descritor de Tráfego (TD - Traffic Descriptor)

As exigências como alta vazão e atraso mínimo, trazem como consequência a necessidade de mecanismos eficientes de controle de tráfego em redes ATM. Este controle baseia-se no descritor de tráfego de conexão. O descritor de tráfego constitui-se de um conjunto mínimo de parâmetros definidos pelo usuário no sentido de fornecer ao gerenciamento da rede as informações que permitam um controle eficiente do tráfego e um alto desempenho na utilização dos recursos (*banda e buffers*) da rede.

Deve ser feita uma distinção entre as fontes de informação que possuem condições de controlar seu fluxo enquanto durar a conexão e as que não tem este recurso. O controle é feito através do *traffic shaping*, no nível de usuário, e é opcional. O *traffic shaping* é feito com base no descritor de tráfego da fonte e permite adaptar o fluxo de informação a uma determinada categoria de serviço. O *traffic shaping* deverá dar condições para que o contrato de tráfego, que é estabelecido entre o usuário e a rede, possa atender às necessidades de ambos.

3.3 Tecnologias para Integrar IP/ATM

A tecnologia de redes ATM foi escolhida e adotada como a forma de implementar a infra-estrutura das redes RDSI-FL (Rede Digital de Serviços Integrados/Faixa Larga) sendo padronizada como meio de transmissão. Estes fatos transformaram a tecnologia ATM em um padrão de fato para integrar em um só meio o envio de áudio, vídeo e dados.

Neste contexto, a implantação de novos serviços para a arquitetura IP pode utilizar-se das facilidades de QoS oferecidas pelas redes ATM, como meio de enlace, segundo o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Entretanto, a integração entre IP e ATM é potencialmente complexa. Existem diferenças das operações entre as duas arquiteturas, principalmente no modo de oferecer QoS (modelos de serviços) e gerenciamento de conexões [PAGANI 00].

Basicamente, podemos integrar IP sobre ATM através dos seguintes mecanismos:

- IPOA ou CLIP (IP Clássico sobre ATM) do IETF trata do encapsulamento e transmissão de pacotes IP através da camada de adaptação AAL-5 (AAL – *ATM Adaption Layer*). Onde não existe interface para prover QoS para as aplicações que rodam no CLIP [LAUBACH 98]. Neste esquema, os pacotes IP são transportados por PDUs (*Protocol Data Units*) do protocolo AAL-5 da camada de adaptação ATM.
- *LAN Emulation* (LANE) é um padrão do *ATM Forum* que suporta pacotes de LAN convencionais como *Ethernet* e *Token Ring* dentro de um ambiente

ATM, permitindo que diversas tecnologias trabalhem transparentemente sobre ATM, inclusive o IP [ATM 97].

- *Multi-Protocol Over ATM* (MPOA) [ATM 96b] do ATM Fórum tem como característica principal a integração das propostas anteriores em um protocolo único para atender a interoperabilidade do ATM com redes herdadas. Ele foi projetado como uma arquitetura cliente/servidor. Cliente MPOA e seus Servidores MPOA são conectados via LANE [ROCHOL 98]. Clientes MPOA detectam o fluxo de pacotes que estão sendo encaminhados a um roteador que contém um servidor MPOA. Quando o Cliente reconhece um fluxo que pode beneficiar-se de um atalho, pulando o caminho roteado, este requisita a informação para estabilizar um atalho ao destino. Se um atalho é possível, o Cliente MPOA guarda a informação, cria um atalho VCC, e encaminha *frames* pelo atalho. Desse modo, o MPOA monitora o tráfego em toda a rede e procura pelos fluxos. O tráfego que é identificado como pertencente ao fluxo é chaveado para seu destino em um VC ATM.

As redes ATM fornecem a QoS, porém, quando é utilizado aplicações IP sobre ATM, tanto para CLIP como para LANE, esta característica é perdida. Isto é devido a falta de uma interface para gerenciamento de QoS.

A seguir são apresentados, de forma mais detalhada, os protocolos de integração da tecnologia de redes IP com ATM.

3.3.1 IPOA (Internet Protocol Over ATM)

O protocolo IPOA (*IP Over ATM*), trata do encapsulamento e transmissão de pacotes IP através da camada de Adaptação AAL-5. O IPOA é conhecido também como o protocolo “Clássico IP sobre ATM”.

O encapsulamento de pacotes IP, é realizado por mecanismos que mapeiam endereços IP em endereços ATM e os parâmetros para se avaliar a necessidade de iniciar ou terminar uma conexão virtual entre sistemas [LAUBACH 98]. Os pacotes IP são transportados por PDUs (*Protocol Data Units*) do protocolo AAL-5 da camada de Adaptação ATM.

3.3.1.1 Arquitetura IPOA

O serviço ATM de canais virtuais comutados SVC (*Switched Virtual Channel*) e as estações finais deverão fazer o mapeamento de endereço IP para endereço ATM e estabelecer conexões virtuais automaticamente. Isto é feito usando um elemento adicional, o protocolo de resolução de endereços ATM (*ATM Address Resolution Protocol - ATMARP*) [PEREIRA 00].

O servidor ATMARP possibilita que cada estação de uma subrede IP (LIS – *Logical IP Subnet*) possa fazer pesquisas para encontrar o endereço ATM a ser usado a fim de que o pacote seja entregue a um destino IP. O protocolo ATMARP desempenha o mesmo papel que o protocolo ARP (*Address Resolution Protocol*) realiza nas redes LANs já existentes. O servidor ATMARP mantém automaticamente em cada LIS (subrede IP) um banco de dados com o objetivo de mapear endereços IP para ATM. O servidor ATMARP é um módulo de *software* que pode ser implantado em um servidor de arquivos ou em uma estação de trabalho, além de poder ser implementado em roteadores ou comutadores ATM na rede.

Na rede ATM com serviço SVC (*Switched Virtual Channel*), cada estação em uma subrede IP (LIS), inicialmente, conecta-se ao servidor ATMARP para registrar-se. A especificação do IP Clássico sobre ATM não aborda como uma estação de trabalho encontra o endereço de um servidor ATMARP. O servidor ATMARP, por sua vez, ao aceitar o registro, envia uma mensagem para obter o endereço IP da estação de trabalho. O servidor ATMARP mantém os endereços recebidos em uma tabela local para que possa responder a outras possíveis estações da rede. Com o objetivo de manter informações atualizadas de endereço e para minimizar o tamanho da tabela, o servidor ATMARP descarta os endereços que não são solicitados em um intervalo de tempo determinado [PEREIRA 00]. Uma estação pode manter permanentemente a conexão com o servidor ATMARP ou, periodicamente, refazer a conexão com o objetivo de atualizar a tabela de endereços.

O IPOA não requer nenhuma alteração na infra-estrutura tradicional de roteamento IP já existente. O roteamento pode ser feito da mesma forma que o tradicional: os pacotes são enviados do remetente para um roteador e deste para outros possíveis roteadores até que o destino seja alcançado [LAUBACH 98]. Ao longo do

caminho, o cabeçalho IP e de outros protocolos de camadas superiores, além dos dados, permanecem inalterados, exceto nos casos em que são acrescentados campos de controle ou que ocorram possíveis fragmentações de pacotes IP em datagramas IP ainda menores.

Em cada subrede IP (LIS), o sistema integrado LAN/ATM comunica-se via conexão virtual ATM ponto-a-ponto. Os pacotes IP são encapsulados em PDUs AAL-5. As células ATM nas PDUs são enviadas de comutadores para comutadores através da rede ATM, para que sejam remontadas, em pacotes IP, no destino.

3.3.1.2 Estabelecimento de Conexão

Na *Figura 3.1* é ilustrado o estabelecimento de uma conexão ATM com IPOA. Quando o cliente 1, na subrede LIS deseja enviar dados para um cliente 2 na mesma LIS, o primeiro pacote IP enviado pelo cliente 1 dispara um pedido ao servidor ATMARP.

Um módulo IP/ATM presente no cliente 1 envia um pedido ATMARP ao servidor ATMARP, que terá o objetivo de verificar qual o endereço ATM correspondente ao endereço IP, inicialmente fornecido, referente ao cliente 2. O servidor ATMARP envia ao cliente 1 o endereço ATM desejado. O cliente 1 usa o endereço ATM obtido para estabelecer um SVC diretamente para o cliente 2. Quando o cliente 2 for retornar um pacote IP para o cliente 1, o mesmo também disparará uma requisição para o servidor ATMARP com o objetivo de obter o endereço ATM do cliente 1. Ao receber este endereço, o cliente 2 verificará que já possui uma conexão com o endereço ATM obtido, sendo desnecessária uma nova conexão. O fato de ambos os clientes da subrede LIS A estarem cientes da conexão e dos endereços, possibilita uma comunicação direta através do serviço SVC, sem a necessidade de mais envolvimento do servidor ATMARP.

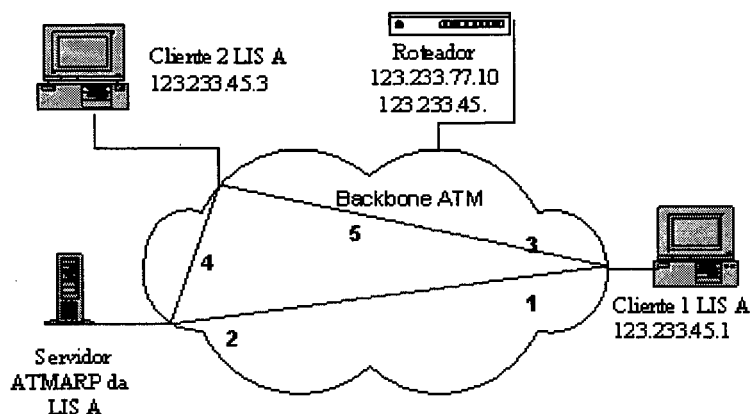


Figura 3.1 - Exemplo de estabelecimento de conexão em IPOA

Uma estação pode ter mais de um circuito virtual ativo simultaneamente. Um servidor de arquivos tem centenas de conexões em um pequeno intervalo de tempo, dependendo do número de clientes que o sistema possui. As conexões que permanecem inativas por determinado período de tempo são automaticamente desfeitas com o objetivo de liberar o adaptador de rede e tornar disponível os recursos da rede ATM.

3.3.1.3 QoS no IPOA

Não existe interface para prover qualidade de serviço (QoS) para as aplicações que rodam no IPOA. O IPOA utiliza a categoria de serviços UBR (*Unspecified Bit Rate*) que se aplica às conexões sem a definição de parâmetros de tráfego e sem garantia de QoS.

O estabelecimento de uma conexão ATM seguindo o conceito do IP Clássico sobre ATM, significa que uma única conexão virtual de melhor-esforço compartilhada é estabelecida para diversos fluxos entre qualquer par ATM com sistemas IP. Um único canal virtual é estabelecido com parâmetros de qualidade de serviço suportando o melhor serviço. Em algumas situações é desejável estabelecer e usar um canal virtual dedicado para o fluxo, em especial para fluxos de dados com altos requerimentos de qualidade de serviço.

3.3.2 Serviço de Emulação LAN (*LAN Emulation*)

Com o intuito de preservar os investimentos já realizados e de permitir uma atualização gradual das atuais redes de computadores é necessário que as redes com

tecnologia ATM suportem não só os protocolos de comunicação das LANs tradicionais como também comuniquem-se com redes não ATM. Esta é a função do LANE.

O *LAN Emulation* ou LANE é um padrão do ATM Forum que suporta pacotes de LANs convencionais (*Ethernet* e *Token Ring*) dentro de um ambiente ATM, permitindo que protocolos e aplicações LAN trabalhem transparentemente sobre ATM e que os equipamentos ligados à LAN possam comunicar-se, inclusive com os dispositivos ATM [ATM 97].

Para manter a compatibilidade com os protocolos de redes optou-se por emular LANs na subcamada MAC, a fim de minimizar as mudanças necessárias para a migração para ATM. A *Figura 3.2* ilustra a arquitetura do serviço LANE .

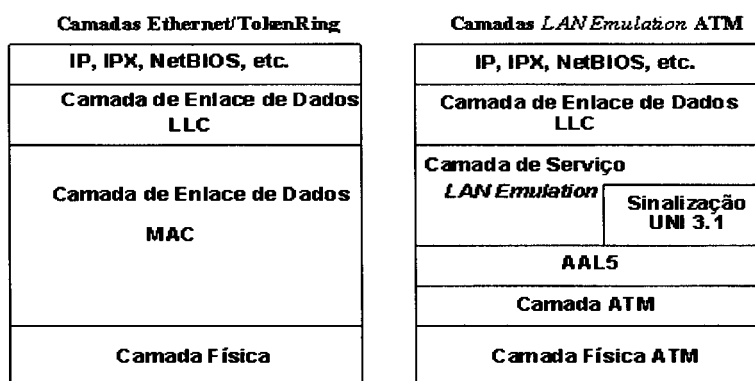


Figura 3.2 - Arquitetura do cliente LAN Emulation

O subconjunto do serviço LANE, LAN emulada (ELAN), é definido como um grupo lógico de dispositivos capazes de trocar tipos de quadros similares dentro de um mesmo domínio. Muitas ELANs podem existir concorrentemente na mesma rede ATM, mas não podem comunicar-se diretamente. Um roteador é requerido para a intercomunicação de ELANs.

3.3.2.1 Componentes LANE

Para oferecer os mesmos serviços para os protocolos tradicionais, o serviço *LAN Emulation* deve oferecer *broadcast* sem conexão e serviço de *multicast* baseado no padrão de endereços IEEE 802 MAC [ATM 97]. Como estes serviços não são nativos de redes ATM, eles são implementados através de um módulo cliente *LAN*

Emulation Client (LEC) em cada *host*, de um servidor *LAN Emulation Server* (LES) que pode estar localizado em qualquer lugar na rede, de um servidor *Broadcast and Unknown Server* (BUS) e de um servidor *LAN Emulation Configuration Server* (LECS), conforme ilustrado na *Figura 3.3*.

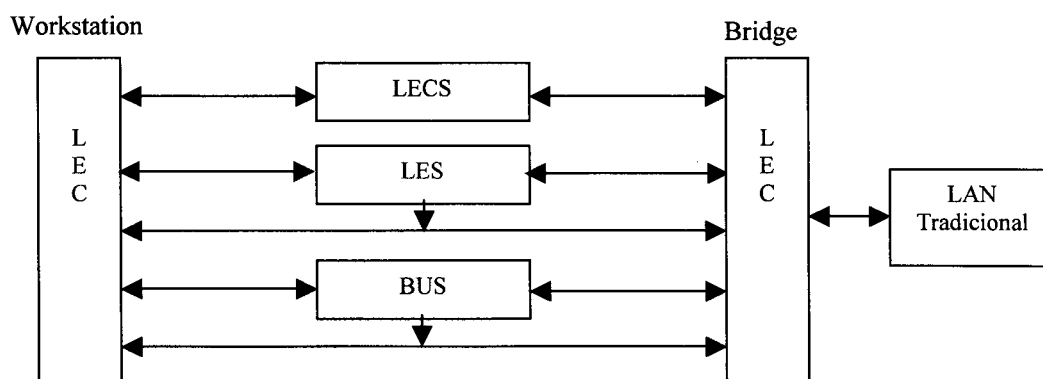


Figura 3.3 – Arquitetura de uma LANE

LAN Emulation Server (LES)

O servidor LES é o servidor de resolução de endereços para a ELAN. Há um servidor lógico LES por ELAN. Quando um cliente LEC recebe um pacote para enviar, ele procura o endereço MAC de destino na sua tabela local. Se tem uma conexão ATM já associada com o endereço, ele envia o pacote por aquela conexão. Se ele sabe o endereço ATM para aquele endereço MAC, ele pode solicitar que uma conexão seja configurada para o destino. Se, contudo, o cliente LEC não tem a conexão ATM ou o endereço ATM, ele usa o protocolo ARP para obter este endereço, enviando uma mensagem LE_ARP (*LAN Emulation Address Resolution Protocol*) para o servidor LES perguntando qual o endereço ATM associado com aquele endereço MAC.

LAN Emulation Configuration Server (LECS)

O servidor LECS mantém um banco de dados com informações de cada LAN emulada (ELAN). Quando um cliente LEC é inicializado, uma das suas primeiras ações é estabelecer uma conexão com o servidor LECS e depois enviar uma solicitação para sua configuração, que deverá retornar o endereço ATM do servidor LES que o cliente LEC deve contactar para se associar a uma ELAN. O banco de dados do servidor LECS é geralmente inicializado pelo administrador de rede e gerenciado via aplicações de gerenciamento SNMP (*Simple Network Management Protocol*). Há um servidor LECS

lógico para cada *LAN Emulation Service*, embora ele possa ser implementado como um banco de dados distribuído.

Broadcast and Unknown Server (BUS)

O servidor BUS é o servidor de *multicast* do LANE. O servidor BUS aceita quadros *broadcast/multicast* de vários VCCs e os direciona sobre uma conexão ponto-multiponto (*Multicast Forward VCC*) ou uma conexão ponto-a-ponto específica (*Multicast Send VCC*).

Uma conexão ponto-a-ponto (*Multicast Send*) de cada cliente LEC na LAN emulada (ELAN) é configurada para o servidor BUS quando o cliente LEC se une a ELAN. Pacotes para serem difundidos do LEC são enviados para o servidor BUS, que os recebe da camada AAL como pacotes completos. O servidor BUS envia os pacotes de volta para todos os clientes LECs usando a conexão ponto-para-multiponto (*MulticastForward*). Isto é feito em uma FIFO (*Fist-In First-Out*), um pacote a cada vez, sem que nenhuma célula de diferentes pacotes intercale a conexão. Os clientes LECs também enviam pacotes, cujo destino é desconhecido, para o servidor BUS. O servidor BUS direciona tais pacotes para todos os clientes LECs que são capazes de recebê-los. Estes clientes LECs de destino podem estar em pontes, comutadores e roteadores. O servidor BUS envia uma cópia destes pacotes para cada cliente LEC na ELAN, incluindo o cliente LEC de onde o pacote foi originado. Os clientes LECs devem filtrar o tráfego que chega usando um campo no cabeçalho de cada pacote que identifica unicamente cada cliente LEC.

Fundamentalmente, o LANE presta serviço de nível de enlace, nível 2, mapeando endereços MAC em endereços ATM. Diferentemente, o IP clássico sobre ATM presta serviço no nível de rede, mapeando endereços IP em endereços ATM.

Comparando os mecanismos de *multicast* adotados no IP clássico sobre ATM e LANE, verifica-se que ambos os mecanismos são bastante similares. Os servidores MARS (*Multicast Address Resolution Server*) e ARP (*Address Resolution Protocol*) juntos possuem a mesma funcionalidade do servidor LES do LANE, ambos sendo responsáveis pela resolução de endereços *unicast/multicast* de clientes previamente registrados. Enquanto o LES realiza o mapeamento de endereços MAC

unicast/multicast em endereços ATM, o MARS mapeia os endereços IP *multicast* em endereços ATM, e o servidor ARP os endereços IP *unicast* em endereços ATM.

O uso do LANE possui a desvantagem de utilizar o mecanismo de *store/forward* para encaminhamento dos quadros, que possui péssima performance para quadros de tamanho grande, se comparada com os comutadores de LAN que se utilizam do mecanismo *cut-through*. O problema do uso de *store/forward* não é restrito apenas ao LANE é também aplicável ao IP clássico, sempre existindo quando o ATM é utilizado [PEREIRA 00]. Como o *store/forward* é prejudicial, recomenda-se a utilização dos atalhos na rede ATM que elimina o tempo de processamento nos nós intermediários, reduzindo bastante a latência fim-a-fim.

3.3.2.2 QoS em LANE

Assim como no IPOA, não existe interface para prover QoS para as aplicações que rodam no LANE. O LANE adota a categoria de serviços UBR que se aplica a conexões sem a definição de parâmetros de tráfego e sem garantia de QoS, para emular a categoria de serviço melhor-esforço [PEREIRA 00]. O serviço LANE versão 2.0 melhora o suporte a QoS, permitindo que os administradores de rede especifiquem o tipo de serviço de tráfego a ser utilizado pela aplicação.

As redes ATM utilizam a multiplexação estatística para compartilhamento da largura de banda de transmissão. O ganho estatístico é significativo quando aplicações, com alto pico para a taxa de largura de banda média, são multiplexadas. As aplicações multimídia tendem a ser muito em rajadas, o ganho estatístico resultante implica em um compartilhamento muito eficiente do custo de transmissão.

As redes ATM podem suportar aplicações com diferentes características de tráfego e requisitos de comunicação como: largura de banda, restrição de atraso e sensibilidade a erro. Também fornecem um protocolo que pode simultaneamente suportar múltiplas aplicações com diferentes características e requisitos pela mesma UNI (*User Network Interface*).

A utilização do IP acaba gerando um outro problema, pois o IP não prove QoS na medida em que não há como especificar, negociar e aproveitar o conceito de QoS das redes ATM. Este é o principal propósito da realização deste trabalho, que apresenta um

estudo buscando identificar a QoS desejada pelas aplicações que rodam no IP/ATM em redes locais.

3.3.3 MPOA (Multiprotocol Over ATM)

Desenvolvido pelo ATM Forum, o MPOA tem como uma de suas principais funções a de prover conexão fim-a-fim de *hosts* na camada inter-redes que estão diretamente ligados à rede ATM ou, a redes herdadas, que podem ou não estar usando LANE, conseguindo, desta forma, aproveitar as vantagens oferecidas pelo QoS do ATM.

O MPOA integra funções de *bridging e routing* em uma rede ATM, interoperando com vários tipos de protocolos herdados. Ele utiliza e faz extensões aos protocolos: NHRP (*Next Hop Resolution Protocol*) do IETF para as funções de roteamento [LUCIANI 98]; ao LANE para as funções de *bridging* [ATM 95], e ao MARS do IETF. Além destes protocolos o MPOA também cria novidades como a técnica de roteamento virtual, que permite o uso de VLANs (*Virtual LANs*) inteligentes e uma melhor migração de estações que usam o LANE. O MPOA utiliza o AAL-5 para transferência de dados e, para sinalização, usa o padrão estabelecido pela UNI 3.1, provendo também suporte para o padrão UNI 4.0 [ROCHOL 98].

3.3.3.1 Características do protocolo MPOA

O MPOA visa a potencialização dos benefícios das redes ATM através da utilização direta de canais virtuais comutados (SVCs) para o envio de dados de forma escalável e a utilização de parâmetros de QoS para o melhor gerenciamento dos serviços oferecidos pela rede [DOURADO 00]. Além disso, mantendo a interoperabilidade com os protocolos da camada de rede, o MPOA garante que aplicações operando através de LANs existentes continuarão a operar normalmente sobre o ATM.

O modelo MPOA também fornece inúmeros benefícios àqueles usuários que necessitam de redes escaláveis baseadas em *switching*. Isto se deve à implementação do protocolo de roteamento/*bridging* baseado no protocolo NHRP e ao estabelecimento de circuitos virtuais diretos para a transferência de dados. Através desta implementação, podem ser alcançados baixíssimos índices de latência na comunicação entre quaisquer dois pontos da rede – independentemente da subrede na qual se encontrem esses dois pontos.

Uma desvantagem do MPOA é o fato de que, para o suporte transparente aos múltiplos protocolos, existe uma repetição intrínseca das informações da topologia ao nível da camada de rede trafegando pela estrutura ATM [DOURADO 00]. Isto pode influenciar negativamente nos custos da infraestrutura ATM.

A vantagem do protocolo MPOA é a transferência eficiente entre sub-redes IP num ambiente de LANE, ou seja, ele permite que a comunicação entre as camadas de rede seja feita sobre VCC's ATM, sem a necessidade de roteadores no caminho dos dados (conforme *Figura 3.4*), mesmo num cenário de diversos protocolos.

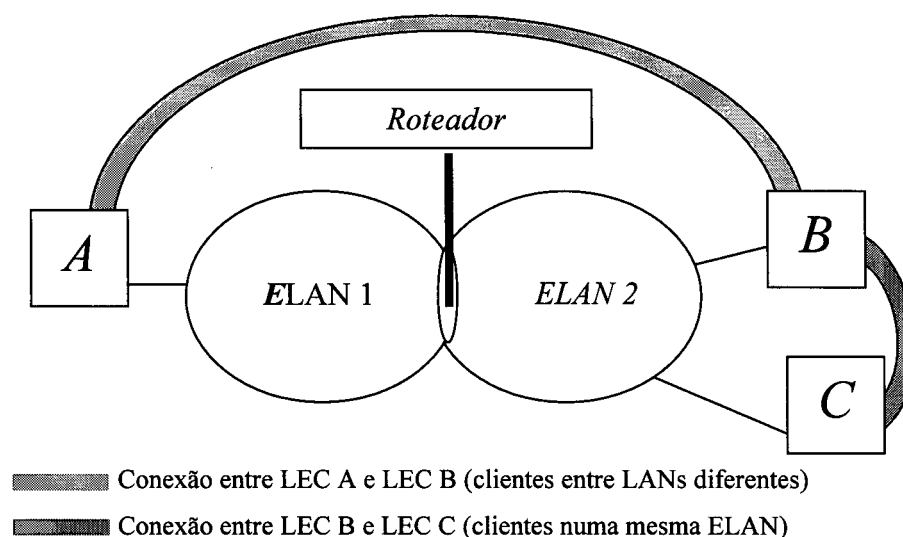


Figura 3.4 – Conexão entre clientes de 2 ELANs distintas usando MPOA.

MPOA é capaz de usar tanto informações de roteamento como *bridging*, para localizar a melhor saída da rede ATM. MPOA permite a separação física entre *forwarding* e o cálculo de roteamento da camada de rede, esta técnica é chamada de roteamento virtual. Esta separação fornece muitos benefícios:

- Permite uma comunicação eficiente entre sub-redes;
- Facilita o gerenciamento, na medida que em que diminui o número de dispositivos da rede que precisam ser configurados para se estabelecer o roteamento da camada de rede;
- Aumenta a escalabilidade reduzindo o número de máquinas que participam do roteamento;

- Reduz a complexidade dos dispositivos da rede, eliminando a necessidade do cálculo de roteamento.

O uso do MPOA define os conceitos de Cliente MPOA (MPC) e Servidor MPOA (MPS), além dos protocolos necessários para eles se comunicarem [DOURADO 00]. O MPC faz requisições de VCC's ATM e recebe respostas do MPS.

Os servidores MPOA fazem uso dos roteadores que rodam protocolos usuais de roteamento, tais como o OSPF (*Open Shortest Path First*), fornecendo uma integração com as redes existentes. Se o roteador não conhece o endereço ATM apropriado, ele propaga a solicitação a outros roteadores. Os endereços retornados pelo servidor de rotas serão sempre os endereços de um dispositivo da rede ATM.

3.3.3.2 Modelos de Endereçamento e Sinalização do MPOA

Os modelos de endereçamento usados pelo MPOA são [ROCHOL 98]:

- Modelo de endereçamento por ponto: É um modelo usado para mapear endereços de uma camada inter-rede para endereços ATM. Neste modelo, é assumido que o *host* que envia os dados pode localizar, através de um algoritmo, o endereço do *host* destino que ele deseja efetuar a transmissão;
- Modelo de endereçamento separado: Neste modelo, assume-se que o *host* que está enviando os dados deve efetuar uma procura dinâmica para encontrar o endereço ATM do *host* que receberá a transmissão. Esta procura é feita em uma tabela de mapeamento fornecida pelos próprios *hosts* ou mesmo por algum *proxy*.

Os modelos de roteamento que podem ser usados pelo MPOA:

- Modelo de roteamento integrado: É um modelo usado para representar o roteamento entre camadas inter-redes no topo de uma topologia ATM. Ele integra as camadas inter-redes com as usadas pelas camadas do ATM em um único banco de dados de informação;
- Modelo de roteamento em camadas: É um modelo usado para representar o roteamento entre camadas inter-redes no topo de uma topologia ATM.

3.3.3.3 Componentes do MPOA

O MPOA é composto por componentes lógicos e fluxos de informações. Os componentes lógicos são: Cliente MPOA (MPC – *MPOA Client*) e Servidor MPOA (MPS – *MPOA Server*). Cada cliente MPOA deve manter vários caches locais, que irão conter informações sobre o mapeamento do endereço das estações para o estabelecimento da conexão ATM sobre os quais serão enviados os dados. As informações contidas nestes caches serão fornecidas pelo servidor MPOA. Cada MPC se conecta ao MPS para registrar seu endereço ATM e endereço de camada 3 que este cliente representa. Para maiores informações referentes ao MPOA consultar [ATM 99].

No próximo capítulo discute-se os mecanismos relacionados à integração da tecnologia IP/ATM.

4 Integração de Redes IP e ATM

4.1 Introdução

O objetivo desse capítulo é dar subsídios sobre os mecanismos de integração e distribuição de dados IP sobre ATM. Serão apresentadas as diferenças com relação ao endereçamento do protocolo IP e do ATM, descrevendo a forma como se realiza o mapeamento de endereços IP para ATM e mapeamento de endereços ATM para IP.

4.2 Integrando Redes IP com ATM

Primeiramente, o protocolo ATM foi utilizado como *backbone* de redes IP, onde sua utilização visava apenas o aumento de banda. A rede ATM era usada para interligação de redes locais através da utilização de circuitos virtuais permanentes (PVCs – *Permanent Virtual Circuit*). Essa solução foi e continua sendo amplamente utilizada devido a sua simplicidade. Sua principal desvantagem é a falta de flexibilidade, porque ela consome muito trabalho do administrador da rede, que a cada mudança na topologia tem que reconfigurar os circuitos virtuais [RODRIGUES 99].

O IP Clássico sobre ATM [LAUBACH 98] e a Emulação de LAN, LANE 1.0 [LAUBACH 98], ao serem introduzidos, reduziram o trabalho do administrador da rede, uma vez que a interligação passou a ser feita através de circuitos virtuais comutados (SVCs). Atualmente, as necessidades das aplicações foram crescendo e um novo atrativo surgiu para a utilização da tecnologia ATM: a necessidade de garantia de QoS. Para atender a esse novo requisito, foi desenvolvida uma nova versão de Emulação de LAN, LANE 2.0 [ATM 97], que acrescenta o suporte de QoS. No modelo de IP clássico sobre ATM foram desenvolvidos trabalhos para promover a integração ao protocolo

RSVP, estendendo a reserva de recursos em redes IP feitas pelo RSVP à rede ATM, garantindo reserva de recursos fim-a-fim mesmo que os pacotes IP atravessem a rede ATM.

A especificação da interface ATM para o usuário é chamada UNI, *User Network Interface* e foi especificada pelo ATM Forum na UNI 3.1 [ATM 96a] e UNI 4.0 [ATM 97], como mostrado na *Figura 4.1*. Ela provê circuitos virtuais permanentes (PVC), estabelecidos manualmente pelo administrador da rede, e circuitos virtuais comutados (SVC), estabelecidos em tempo de conexão através do protocolo de sinalização.

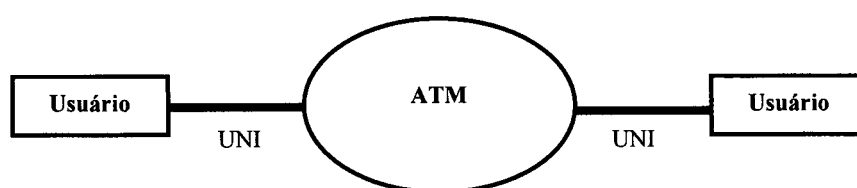


Figura 4.1 - Conexão do Usuário a Rede ATM

O protocolo ATM, devido a sua característica de ser orientado à conexão, utiliza endereçamento de nós, apenas durante a fase de sinalização para estabelecimento da chamada. Diferentemente, do protocolo IP que não é orientado à conexão, o qual utiliza o endereçamento em cada pacote enviado [RODRIGUES 99].

As redes tradicionais baseadas em protocolo IP utilizam usualmente recursos de difusão (*broadcast*), que são inerentes à tecnologia de redes locais tradicionais ou legadas. O mapeamento do endereço IP da mesma rede lógica IP em endereços MAC é feito pelo protocolo ARP (*Address Resolution Protocol*), que é transmitido em um quadro *broadcast* na rede local. Após o recebimento da resposta do ARP, um nó é capaz de se comunicar diretamente com o destino.

O controle de tráfego dos serviços IP sobre ATM estão divididos em dois cenários, o modelo *peer* e o modelo *overlay* [WERNER 97], ambos estão ilustrados na Figura 4.2. No modelo *Overlay* é usada uma camada comum, em que parte das propriedades disponíveis nesta camada é mapeada para a camada inferior, baseada em tecnologias diferentes nas bordas e, no modelo *Peer*, que também é mostrado na Figura 4.2, é realizada uma separação de ambas as tecnologias com uma tradução na unidade que as interliga.

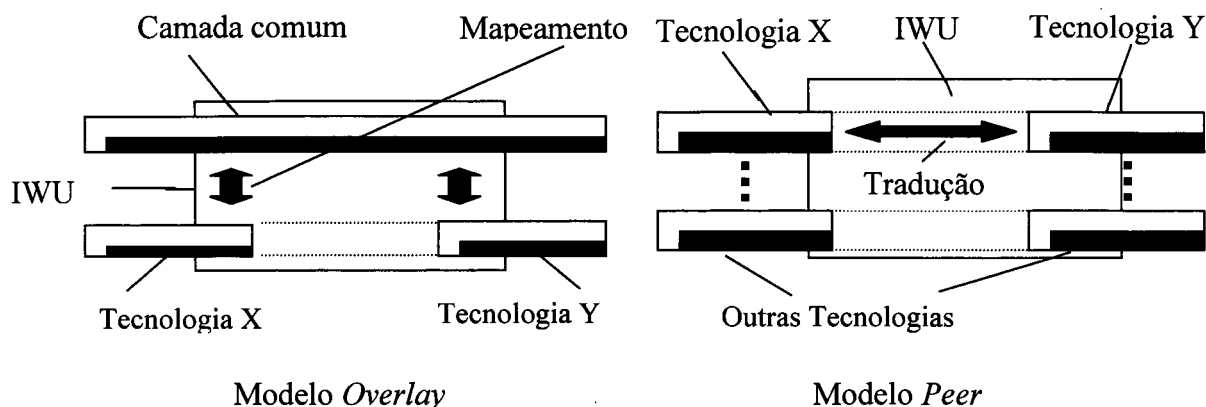


Figura 4.2 - Modelo Overlay e Peer [WERNER 97]

Existem diversas formas de redes atuais acessarem redes ATM. Os dois principais modelos são baseados no modelo *Overlay* ou no modelo *Peer* [WERNER 97]. No modelo *Overlay* existem os seguintes protocolos que permitem integrar outras tecnologias com o ATM, são eles [ROESLER 98]: *LAN Emulation*, *Classical IP*, *Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*, *Multiprotocol Over ATM (MPOA)*; no modelo integrado *Peer*, temos: *IP Switching*, *Tag Switching* [REKHTER 97], MPLS [ROSEN 99] e o *Integrated P-NNI*.

Neste trabalho apresentou-se 3 possibilidades de integrar IP e ATM: através da Emulação de LAN (LANE) [ATM 97], do IP Clássico sobre ATM [LAUBACH 98] e do MPOA *Multiprotocol over ATM* [ROCHOL 98], todos foram discutidos no Capítulo 3. A emulação de LAN emula serviço *Ethernet*/IEEE 802.3 ou *Token Ring*/IEEE 802.5, e permite, com o uso de pontes, plena interconectividade à nível de MAC com qualquer rede legada. O LANE automaticamente estabelece e termina SVCs, tornando o *backbone* ATM transparente para a LAN e para as aplicações de usuários finais.

O IP clássico sobre ATM [LAUBACH 98] descreve o suporte para transmissão de dados IP *unicast best-effort* sobre rede ATM. Neste modelo é definido o conceito de LIS, *Logical IP Subnetwork*, que é formada por nós diretamente conectados através da rede ATM, que estão dentro de uma mesma subrede IP, e se utilizam de encapsulamento LLC/SNAP (*Logical Link Control/SubNetwork Access Protocol*) por *default* nos VCs. Além disso, os nós devem respeitar a mesma arquitetura de roteamento IP, onde nós

membros de uma LIS acessam outros membros dessa mesma LIS, diretamente, sem uso de roteadores, e acessam nós membros de outras LISs através de roteadores.

A definição corrente de atalho (*shortcut*) é baseada na existência de uma LIS, cujos limites são definidos em termos de roteadores físicos. O mecanismo de atalho procura estabelecer conexões diretas entre membros de diferentes LISs, logicamente separados por um ou mais roteadores, mas ligados à mesma rede física ATM, trazendo benefícios em termos de desempenho e consumo de recursos dentro da rede [RODRIGUES 99].

Dentro da atual tendência de interligação de redes IP através de rede ATM, o modelo IP clássico sobre ATM, que impõe a utilização de roteadores para conexões entre nós de diferentes LISs, se torna muito restritivo, pois introduz *hops* extras no roteamento, não considerando o compartilhamento da mesma rede física ATM pelas LISs. Esses *hops* extras impõem um desnecessário retardo devido à filas, segmentação e remontagem de células, pois cada datagrama IP deve ser remontado em cada roteador presente na rota para fins de processamento de decisões de roteamento [RODRIGUES 99]. O retardo apresentado em cada roteador geralmente é da ordem de milissegundos, e o uso do atalho, dentro do possível, tenta pular os roteadores intermediários, estabelecendo conexões diretas entre nós de diferentes LIS, que estão conectados na mesma rede física, diminuindo em muito o retardo dos pacotes fim-a-fim.

Para tráfego *unicast* o mecanismo de atalho é provido pelo protocolo NHRP, *NBMA Next Hop Resolution Protocol* [LUCIANI 98]. O protocolo NHRP é baseado em aplicações cliente-servidor, onde um servidor provê a resolução do próximo *hop* na rede NBMA (*Non-Broadcast Multi-Access*) para um dado cliente. O NHRP foi desenvolvido apenas para atender atalhos para endereços *unicast*, não trabalhando com endereçamento *multicast*.

Para endereços *multicast* nada definitivo foi apresentado para estabelecimento de atalhos, pois neste caso, torna-se crítica a gerência dos VCs e a escalabilidade. Algumas propostas já foram apresentadas, sem que nenhuma delas tenha sido adotada pelo IETF, são elas: EARTH, *Easy IP Multicast Routing Through ATM Clouds* [SMIRNOV 97] e IMSS: *IP Multicast Shortcut Service* [ANKER 97].

Quanto à qualidade de serviço, a tecnologia ATM especifica classes de serviços diferenciadas de acordo com a existência de sincronização entre fonte e destino e o tipo de taxa (constante ou variável). As classes de serviços oferecidas são: *CBR* (*Constant Bit Rate*), *VBR-rt* (*Variable Bit Rate – real time*), *VBR-nrt* (*Variable Bit Rate – non-real time*), *UBR* (*Unspecified Bit Rate*) e *ABR* (*Available Bit Rate*), definidas na UNI 4.0 [ATM 97].

Para a Internet, o protocolo RSVP, *Resource ReSerVation Protocol* [BRADEN 97], foi desenvolvido para sinalização dos requisitos de QoS especificados pela aplicação. Ele baseia-se em reservas explícitas dos recursos da rede, como memória e recursos de processamento, em todos os nós, ao longo da rota dos pacotes IP.

O protocolo RSVP, não especifica qualquer estrutura e conteúdo dos parâmetros de QoS. Ele utiliza-se das especificações que estão sendo desenvolvidas pelo *Integrated Services Working Group* [SHENKER 97a], correntemente referenciadas como *IntServ* (*Integrated Services*) ou *IIS* (*Internet Integrated Services*). Também já foram especificadas por esse grupo classes de serviço que se baseiam no controle do retardo máximo dos pacotes, a classe de Serviço Garantido [SHENKER 97b] ou no controle de carga da rede, classe de Serviço de Carga Controlada [WROCLAWSKI 97].

Em [OLIVEIRA 00] discute-se a integração de dados IP com a tecnologia ATM com qualidade de serviço, enfocando problemas decorrentes dessa integração, soluções para alguns problemas, uma análise da QoS suportada pela integração destas duas tecnologias e alguns encaminhamentos para questões futuras. Também é apresentado algumas considerações referentes ao RSVP/ATM e algumas aproximações para a integração do IP/ATM com garantias de QoS.

A seguir apresenta-se aspectos relacionados ao endereçamento para integração de redes IP/ATM.

4.3 Endereçamento IP/ATM

Um ponto importante na distribuição de dados IP sobre ATM é relativo ao endereçamento. O protocolo IP possui 3 tipos de endereços: *unicast*, *multicast* e *broadcast*. O endereço *unicast* identifica uma simples interface. Por outro lado, o endereço *multicast* identifica um conjunto de interfaces, tipicamente pertencentes a

diferentes nós, sendo o pacote enviado para todas as interfaces do conjunto [RODRIGUES 99]. Finalmente, o endereço *broadcast* identifica todas as interfaces dentro de uma subrede IP, tendo um escopo local da subrede, diferente do endereço *multicast* que tem um escopo global. O IPv4 usa para endereço *broadcast* um endereço com todos os bits setados em “1”, enquanto o IPv6 não define esse tipo de endereço, tratando o endereço *broadcast* como um caso especial de endereço *multicast*, utilizando-se de alguns endereços reservados para este fim.

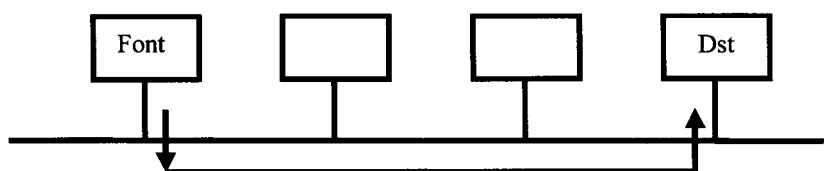


Figura 4.3 - Transmissão Unicast

As transmissões para endereços IP *unicast*, como mostrado na Figura 4.3, ocorrem no ATM sobre um VC ponto-a-ponto bidirecional entre a fonte e o destino.

As transmissões para endereços *multicast* na rede ATM não são providas através da abstração de endereço de *multicast* como no protocolo IP, mostrado na Figura 4.4. As transmissões *multicast* ocorrem sobre um VC ponto-multiponto unidirecional entre a fonte e os destinos membros do grupo, ou através do mecanismo LIJ, *Leaf Initiated Join* [ATM 96a] que provê suporte para estabelecimento de VCs ponto-multiponto em rede ATM, mas que ainda não está totalmente definido.

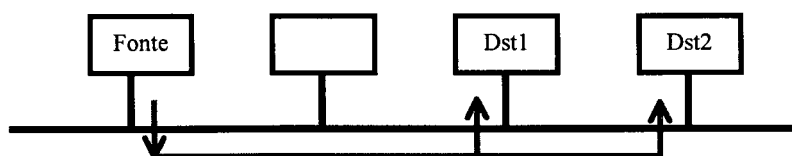


Figura 4.4 - Transmissão Multicast

O protocolo IP também define o endereço *anycast*, que identifica um conjunto de interfaces, tipicamente pertencentes a diferentes nós, sendo o pacote enviado para a interface mais próxima, em termos de roteamento IP. As transmissões para endereços *anycast* no ATM são providas pelo mecanismo *ATM Anycast Capability*, descrito em [ATM 97], possibilitando que um usuário possa requisitar uma conexão ponto-a-ponto para um simples nó ATM em qualquer parte de um grupo ATM, registrado via ILMI (*Interim Local Management Interface*) [ATM 96a], de maneira similar ao protocolo IP.

Para o IP clássico sobre ATM, a resolução de endereços *unicast* IP-ATM e ATM-IP é provida pelo protocolo ATMARP (*ATM Address Resolution Protocol*) [LAUBACH 98], e pelo InATMARP (*Inverse ATM Address Resolution Protocol*).

A resolução de endereços IP *multicast* para o ATM, no modelo clássico, é provida pelo MARS [ARMITAGE 96] onde um servidor centralizado complementa a função de resolução de endereços realizada pelo ATMARP, provendo além da resolução de endereços *unicast* IP, a resolução de endereços *multicast* IP para grupo de endereços ATM.

O endereço *broadcast*, definido no protocolo IP, é tratado pelo ATM como um caso especial de endereço *multicast*, onde todos os nós da LIS são considerados destinos, como na *Figura 4.5*, possuindo o mesmo tratamento de um endereço *multicast* sobre ATM. No modelo IP clássico, a resolução de endereço *broadcast* é provida pelo MARS, pois o endereço de *broadcast* é utilizado como *default* por algumas aplicações como *boot* remoto em nós que não possuem disco, que não conhecem seu endereço IP e irão recebê-lo durante o *boot*.

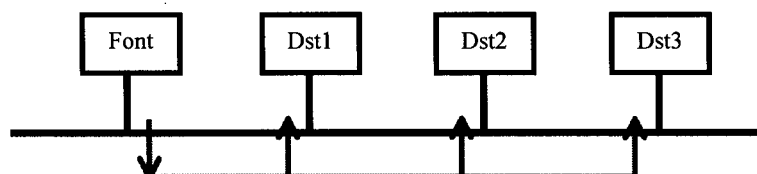


Figura 4.5 - Transmissão Broadcast

Em [RODRIGUES 99] é descrita uma proposta de distribuição de dados IP *multicast* sobre ATM, com reserva de QoS, utilizando um mecanismo para estabelecimento de atalhos, visando encontrar o caminho mais eficiente através da rede ATM. A solução traz benefícios para aplicações cujo volume de tráfego ultrapasse determinado limite ou que utilize muitos recursos por um período considerável de tempo, pois elimina o retardo em roteadores intermediários.

Na Emulação de LAN, a resolução de endereço MAC/ATM é baseada em servidores de maneira semelhante ao IP clássico sobre ATM. São especificados três servidores: LES, BUS, e o LECS, que podem residir ou não na mesma plataforma de *hardware* ou estarem dispersos em diferentes nós da rede ATM. É definido também o LEC, que é responsável pelo encaminhamento de dados e resolução de endereço,

provendo emulação de nível MAC nos padrões IEEE 802.3 (*Ethernet*) ou IEEE 802.5 (*Token Ring*) para as estações clientes no ATM.

A emulação de LAN basicamente provê serviço sem conexão para as aplicações de usuários, de maneira similar a uma LAN física. O LANE realiza o mapeamento de endereço MAC para endereço ATM, emula serviço *multicast* e *broadcast*, provê serviço de interconexão de LAN e provê, localmente, gerência de QoS para comunicação de nós conectados na rede ATM. O *LAN Emulation* e o IP clássico sobre ATM foram discutidos na Seção 3.3.

4.4 Transporte de Dados IP sobre ATM

Como pode-se observar, há mecanismos capazes de transportar o IP eficazmente sobre o ATM. As principais funções destes mecanismos são controlar o conjunto de circuitos virtuais usados para transportar o IP sobre uma infraestrutura do ATM; agregar os conjuntos apropriados de pacotes do IP nos circuitos virtuais corretos (VCs); e fornecer mecanismos para interoperar com os roteadores existentes [WEB 99a].

Internamente, a infraestrutura IP/ATM deve construir um conjunto de VCs (permanentes ou comutados) requeridos para fornecer a conectividade através da infraestrutura. Os VCs podem ser estabelecidos de acordo com a demanda (e desconectados quando a demanda não existe mais por um certo tempo) – SVC ou pelo controle administrativo - PVC ou ainda pela combinação de ambas as opções. A infraestrutura do IP/ATM deve também assegurar de que cada conexão de canal virtual (VCC) tenha os descritores de tráfego apropriados para conseguir a classe de serviço requerida.

Dado que um conjunto de VCs é, ou pode ser, estabelecido, a infraestrutura do IP/ATM deve assegurar que os pacotes apropriados sejam agregados nos VCs corretos. A execução dos serviços de conexão e do tratamento baseado em políticas de tráfego (tal como classes de serviço) podem também influenciar na seleção dos VCs.

Há um número de tecnologias baseadas no ATM requeridas para suportar tal infraestrutura [WEB 99a]. Uma das tecnologias é o *Next Hop Resolution Protocol* (NHRP), que permite que a infraestrutura do IP/ATM use um conjunto de circuitos

virtuais de atalho, o qual permite carregar o tráfego do IP sobre o ATM sem causar problemas para os protocolos de roteamento.

Embora o ATM esteja posicionado por muito tempo como a tecnologia de QoS escolhida, o desafio de mapear exigências de QoS da camada 3 IP para a camada 2 ATM tem ainda que ir além dos serviços de *best-effort* do IP. O problema tem sido tratado em ambas as extremidades, com o padrão de QoS desenvolvido pela IETF para o IP enquanto o ATM Forum mapeia as exigências em sua classe de especificações de serviços [XEDIA 98].

Essencialmente, o problema está no conflito das aplicações e no controle da rede. Quando os múltiplos fluxos do tráfego IP são encapsulados sobre um circuito ATM, todos aqueles fluxos do IP competem entre si pela QoS. O ATM não controla a QoS entre ele, somente controla QoS no circuito da camada 2 que ele compartilha. Se qualquer uma aplicação gerar o tráfego além dos parâmetros que o ATM permite, todos os outros fluxos do IP no circuito são afetados pelos limites do ATM. Não há nenhuma granularidade de QoS entre os fluxos do IP que operam sobre o transporte da camada 2 ATM.

O que é requerido preferivelmente é uma maneira de controlar a QoS do IP diretamente na camada 3, de modo que o tráfego seja modelado e corrigido antes de ser entregue ao ATM.

O AP/ATM (*Point Access ATM – da Xedia Corporation*) fornece uma diferenciação da granularidade dos fluxos do tráfego IP e mapeia suas exigências de QoS para os circuitos virtuais do ATM [XEDIA 98]. Junto ao AP/ATM está o *Class-Based Queuing* (CBQ) que estende QoS para a camada IP. CBQ é uma tecnologia que classifica e controla as exigências do tráfego IP, aplicando o controle de tráfego na camada IP. O CBQ não depende da camada adicional 2 de sinalização. Como resultado, combina-se facilmente às redes existentes, mapeando QoS entre o IP e outras tecnologias, incluindo o *Frame Relay*, *Ethernet* e o *ATM*.

4.4.1 Suporte de Tráfego em Tempo-Real

Os principais atributos que descrevem o fluxo de dados em tempo real são: a largura de banda mínima, atraso mínimo e a variação do atraso. Estes atributos

apresentam exigências muito mais severas de serviços para a rede subjacente do que a transferência de dados que é baseada em transferência de arquivos e pode tolerar atrasos aleatórios e serviços do tipo melhor-esforço. Há indicações claras de que o número de aplicações que usam o tráfego de tempo real está aumentando na Internet. Tipicamente estas aplicações usam o Protocolo de Tempo Real (RTP) [SCHULZRINNE 96] no topo do *User Datagram Protocol* (UDP) para carregar o tráfego de tempo real no plano do usuário.

4.5 Gerência da Rede IP/ATM

A base da gerência de largura de banda na tecnologia ATM é um contrato de tráfego que é usado para atribuir a largura de banda a um cliente específico que pede um serviço baseado em IP. O ATM pode acomodar isto alocando mais ou menos células (que contêm o tráfego encapsulado IP) dentro de um dado VC para um cliente. As células são identificadas como pertencentes a este cliente e podem ser monitoradas durante toda a conexão fim-a-fim para assegurar ao cliente o serviço requisitado e para assegurar de que o uso da largura de banda deste cliente não exceda o contrato e não use a largura de banda que pertence a um outro cliente [WEB 99a].

O serviço é orientado à conexão, o ATM assegura que somente uma largura de banda requerida seja reservada em cada nó, fazendo assim o uso mais eficiente dos recursos físicos da rede e evitando a necessidade de melhoramentos freqüentes dos nós. A eficiência da largura de banda adicional é criada com redes IP baseada em ATM através do uso da característica ponto-multiponto do ATM.

4.6 Fornecimento e Acordos de Serviços

Usando uma rede IP sobre uma ATM, o fornecedor de serviço tem oportunidade de negociar serviços diferenciados. Para começar, o fornecedor de serviço pode criar um contrato de serviço que define a classe de serviço associada ao trajeto dos dados fim-a-fim. O trajeto dos dados é definido por um VC ATM, ele é importante para o fornecedor de serviços prover uma VPN (*Virtual Private Network*)³ para um cliente

³ VPNs (*Virtual Private Networks*) são redes que possibilitam um acesso privado de comunicação, utilizando-se redes públicas já existentes, como a Internet. O termo refere-se a combinação de tecnologias que asseguram a comunicação entre dois pontos, através de um “túnel” que simula uma comunicação ponto-a-ponto inacessível à “escutas clandestinas” e interferências.

individual. Uma vez que VPNs são definidas, são isoladas de cada uma das outras. Dado este isolamento da largura de banda do cliente e da natureza determinística da gerência do tráfego ATM, os fornecedores podem entregar garantias de níveis de serviço.

O foco da gerência de uma rede IP sobre ATM é gerenciar serviços de dispositivos individuais ou conexões ponto-a-ponto. Isto é realizado através da configuração de políticas para clientes específicos dentro do sistema de gerência da rede. Estas políticas são propagadas automaticamente a todos os elementos da rede que fornecem um serviço ao cliente. Para manter a flexibilidade da gerência dentro deste ambiente, o gerente de rede tem a habilidade de pré-configurar VCs comutados ou permitir que o usuário final negocie a admissão à rede sob um contrato específico de tráfego, como parte de um circuito virtual comutado(SVC) iniciado pelo usuário [WEB 99a]. O sistema de gerência associa um cliente com uma conexão fim-a-fim e uma política, ele pode manter estatísticas de desempenho e contabilização apropriadas que são vitais para a qualidade de serviço do cliente, e a monitoração de IP SLAs.

Um acordo de nível de serviço (SLA) [BERNET 00], especifica aspectos de um tipo de serviço oferecido. A seguir apresenta-se a importância do uso do SLA associado à QoS desejada, logo após descreve-se o uso dos protocolos de reservas de recursos como forma de integrar serviços IP à tecnologia ATM.

4.7 Gerência dos Níveis de Serviços

Os acordos de níveis de serviços (SLAs) são contratos entre os fornecedores de serviços e os clientes que definem os serviços fornecidos, as métricas associadas a estes serviços, os níveis de serviço aceitáveis e inaceitáveis, responsabilidades da parte do fornecedor de serviço e do cliente e, ações a serem tomadas em circunstâncias específicas. A gerência do nível de serviço (SLM) é um conjunto de pessoas e sistemas que permite que a organização assegure o SLA e que os recursos necessários sejam fornecidos de modo eficiente [WEB 99b].

As exigências cada vez maiores de elevados níveis de serviços mostram a utilidade da gerência dos níveis de serviços diante das explosivas mudanças no ambiente de comunicação atual. Esta necessidade atinge não somente os usuários finais,

mas também aquelas organizações responsáveis pelo gerenciamento dos níveis de serviços e que fornecem garantias de QoS.

Gerenciar os serviços de comunicação deliberados é um desafio. Os ambientes típicos consistem de equipamentos de diversos vendedores, suportando múltiplos protocolos, com múltiplos serviços e múltiplos usuários. O desempenho da rede e dos equipamentos é dinâmico, a quantidade de dados é grande mas a quantidade de informação útil é limitada. Neste ambiente complexo, é difícil detectar problemas antes que eles apareçam (gerência pró-ativa) [OLIVEIRA 00]. Uma vez que eles aparecem, deve-se examinar o tempo para descobrir a causa verdadeira, determinar a melhor solução, medir o potencial do impacto no serviço e faz-se a ação corretiva.

Para finalizar este capítulo apresenta-se o uso do RSVP e do MPLS sobre o ATM.

4.8 Integrando RSVP e ATM

O protocolo RSVP, padronizado pela IETF [BRADEN 94], é o mecanismo de configuração de reservas (agente de reserva) segundo o modelo IIS. Um aplicativo pode utilizar o protocolo RSVP para requisitar à rede um serviço com controle de QoS. O RSVP pode ser usado por um roteador para receber as requisições de serviços dos aplicativos através da rede [BERGER 98]. Informações de reservas são transportadas em mensagens do protocolo e ajudam os mecanismos de controle de tráfego no estabelecimento e manutenção das variáveis de estado destas reservas.

Um detalhe chave com relação ao roteamento IP sobre redes ATM é a integração da sinalização RSVP e da sinalização ATM, para suportar o modelo de serviços integrados da Internet (IIS – *Internet Integrated Services*). Na adaptação do modelo IIS sobre ATM, o problema surge nos diferentes modos de sinalização adotados pelo protocolo RSVP e pela arquitetura ATM. Esse problema divide-se em duas partes: gerenciamento de conexões e a tradução dos parâmetros de tráfego e QoS [PAGANI 00]. O gerenciamento de conexões determina em quantos canais virtuais e como os fluxos RSVP serão suportados. Por outro lado, a tradução de QoS se preocupa com o suporte das classes de serviço do modelo IIS por parâmetros ATM.

O gerenciamento de fluxos RSVP em conexões ATM divide-se em dois tipos: conexões de dados e conexões de controle. As soluções existentes para tratar as conexões de dados abordam o problema por dois aspectos: heterogeneidade específica diferentes níveis de QoS suportados em uma sessão e quantos canais virtuais são necessários; comportamento dinâmico de QoS refere-se ao comportamento em relação à alteração de QoS requisitada e aos membros do grupo receptor.

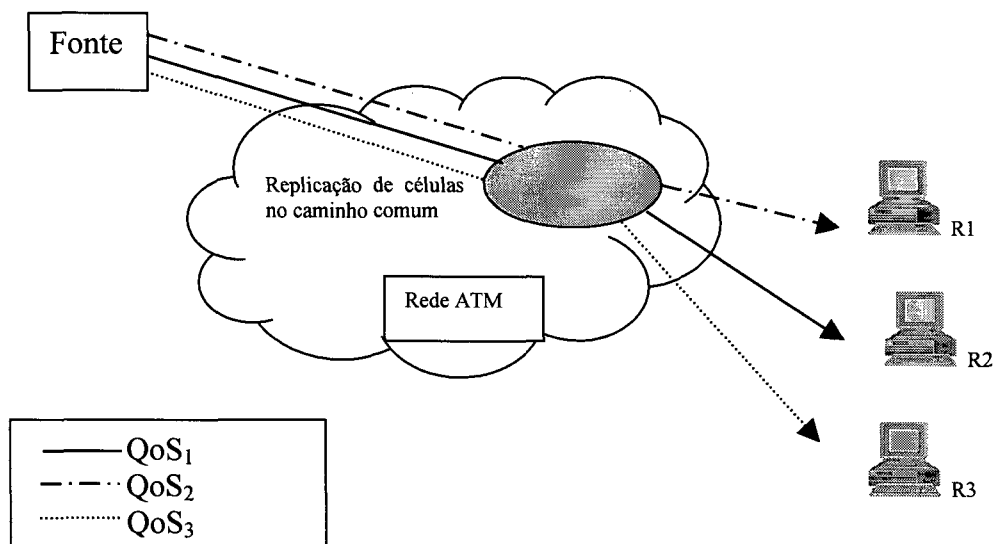


Figura 4.6 – Tráfego replicado em uma sessão RSVP para várias QoS

Mesmo com a UNI 4.0, a tecnologia ATM só suporta um único nível de QoS em seus canais virtuais *multicast*. Esta característica resulta no problema denominado heterogeneidade, que provoca redundância de dados que trafegam pela rede, pois um canal virtual distinto deve ser aberto para cada diferente nível de QoS requisitado por um grupo de receptores. Na Figura 4.6, a região sombreada representa um caminho comum aos canais virtuais de uma mesma sessão [PAGANI 00]. Nesta região, cópias idênticas de pacotes são enviadas para cada ramo de receptores (R1, R2 e R3) com QoS diferenciada.

O protocolo RSVP permite, a qualquer momento, mudanças nas reservas de recursos em uma sessão através da alteração dos valores de tráfego e de QoS transportados nas mensagens PATH e RESV. O padrão ATM UNI 4.0 não suporta essa característica. Caso um novo valor de QoS seja necessário, um canal virtual é estabelecido para suportar a nova requisição. O processo de estabelecimento de canais virtuais ATM envolve operações complexas que demandam um tempo substancial.

Além disso, o fechamento do canal virtual antigo pode provocar instabilidade no serviço oferecido e problemas na abertura do novo. Essa situação é conhecida como problema do comportamento dinâmico de reservas com QoS.

Esses problemas aumentam as chances de congestionamento pois criam redundância no envio. Soluções como limitação de heterogeneidade ou reservas homogêneas não são ótimas pois duplicam o tráfego na rede ou impedem a garantia de oferecimento de vários níveis de QoS. A natureza orientada por conexão da tecnologia ATM dificulta o suporte aos padrões de tráfego que estão surgindo como demanda de QoS dinâmica.

A fim de melhorar a integração das redes ATM com os serviços integrados da Internet, duas modificações na sinalização ATM se fazem importantes. A primeira, seria prover uma maior heterogeneidade nas reservas, onde por exemplo, a sinalização ATM poderia ser modificada para suportar um VC partindo de um ponto e com chegada em vários pontos (*multicast*), de dois tipos, um que atenda ao serviço padrão do ATM e outro que atenda ao padrão de QoS do IIS. Segundo, para melhor suportar reservas dinâmicas de QoS, a sinalização ATM poderia ser modificada para permitir que os parâmetros de QoS, com uma origem e vários destinos, possam ser reconhecidos.

Existe um número considerável de outras características que continuam sendo motivo de pesquisas. Uma característica chave é como traduzir a QoS do modelo IIS para a QoS nativa das redes ATM. Felizmente, estas características parecem estar se tornando mais fáceis, ao passo que as definições de QoS do IETF e do ATM Forum parecem estar se aproximando da solução definitiva à medida que evoluem.

Ambos, ATM e RSVP usam sinalização, no chamado plano de controle, que define a funcionalidade da sinalização, e no plano de usuário, que fornece a funcionalidade de transferência dos dados [BERGER 98]. A seguir apresenta-se estes dois planos.

4.8.1 Plano do usuário

O plano do usuário compreende nos módulos e protocolos requeridos para endereçamento, encapsulamento e transferência de dados. Para conseguir a integração

entre redes IP e ATM, qualquer uma das camadas superior tem que ser identificadas ou traduzidas entre um par de camadas especificadas.

O ATM é usado como uma camada de ligação (enlace) e o IP representam as funções da camada de inter-rede. O uso do IP para esta finalidade foi proposto já no modelo OSI [ISO 88]. Esta solução evita problemas de interoperabilidade no plano do usuário, porque os aspectos de comunicação fim-a-fim são gerenciados completamente pela camada IP.

Uma outra aproximação concebível é definir um mapeamento entre AAL-5 e UDP, ou, o que é mais difícil, entre AAL 5 e TCP (*Transmission Control Protocol*), porque cada um destes protocolos pode ser visto como uma representação na camada de transporte em sua respectiva pilha.

4.8.2 O Plano de Controle

O plano de controle inclui toda a funcionalidade relacionada ao ambiente estabelecido acima e aos caminhos de comunicação, tais como aspectos de roteamento, negociação de QoS (e renegociação), e a gerência de conexão.

O roteamento de um ambiente integrado depende parcialmente de como os endereços são traduzidos. Mesmo se o roteamento não faz parte diretamente da sinalização, ele influencia na definição do trajeto de comunicação seguido pela sinalização.

4.8.3 Comentários de Alguns Trabalhos Relacionados a RSVP e ATM

Existem vários *Drafts IETF* que tratam de uma estrutura para serviços integrados usando RSVP sobre ATM. Esta seção apresenta de modo geral um estudo de alguns destes *Drafts* e trabalhos correlatos ao tema que está sendo estudado.

Em março de 1998 surgiu o DIANA [WERNER 97], especificado pela união européia. Seu objetivo principal foi de desenvolver, integrar, validar e demonstrar a funcionalidade da reserva de recursos e do controle de tráfego que interoperava entre as redes de serviços integrados IP e ATM com a finalidade de fornecer garantia de QoS fim-a-fim. O DIANA enfoca principalmente serviços integrados e ATM. O estudo deste

projeto é mantido de forma flexível para permitir investigar soluções diferentes para a convergência do IP e ATM [ACTS 98] [OLIVEIRA 00].

Em [RODRIGUES 99] são descritos os problemas e possíveis soluções para a integração de tráfego IP à rede ATM com garantia de QoS obtida através do protocolo RSVP. Apontando questões importantes para esta integração, como: resolução de endereçamento, distribuição de dados *multicast*, otimização de roteamento e mapeamento de parâmetros de QoS. Adicionalmente é apresentado um guia de implementação, onde são especificados os procedimentos dos mecanismos utilizados na integração, visando servir de base para futuras implementações. Além disso, é apresentada uma proposta de distribuição de dados IP *multicast* sobre ATM, com reserva de QoS, utilizando um mecanismo para estabelecimento de atalhos, visando encontrar um caminho mais eficiente através da rede ATM. A solução traz benefícios para aplicações cujo volume de tráfego ultrapasse determinado limite ou que utilize muitos recursos por um período considerável de tempo, pois elimina o retardo em roteadores intermediários.

É importante notar que, no cenário RSVP sobre ATM, o estabelecimento, modificação e a liberação de conexões do ATM são provocadas sempre por mensagens de controle RSVP [COLE 97].

Um mapeamento convincente dos serviços integrados IETF (carga garantida, controlada e o serviço *best effort*) para categorias de serviço do ATM Forum é dado em [GARRETT 98], o RSVP fornece muitas características de sinalização, tais como as reservas orientadas ao receptor, heterogeneidade dentro de uma sessão *multicast*, mudança dinâmica de reservas, e de múltiplos estilos de reservas que não são facilmente suportados pelo ATM. No ATM, o primeiro nó de um VC ponto-multiponto determina a QoS (estaticamente) para toda a árvore. O ATM não permite a heterogeneidade em um único VC ponto-multiponto, e VCs ponto-multiponto separados tem que serem ajustados para o ATM suportar, ambos, serviços UBR e serviços garantidos dentro de uma sessão.

O controle de admissão de serviços integrados depende do sucesso do estabelecimento da conexão do ATM, por exemplo, a interconexão de duas unidades de integração. Na terminologia do RSVP, isto faz parte da *Link Layer Dependent*

Adaptation Layer (LLDAL). Esta camada fornece a tradução entre os descritores de tráfego de serviços integrados para os descritores da camada de enlace.

O mapeamento dos parâmetros de tráfego e QoS do RSVP para ATM, assim como as funções de gerenciamento dos fluxos dos VCs podem ser interdependentes, especialmente quando a agregação é realizada e a função de gerenciamento decidir alocar recursos extras para favorecer as reservas.

O *Leaf Initiated Join* (LIJ) proposto pela UNI 4.0 [ATM 96a] permite que receptores ATM agrupem um VC ponto-multiponto sem a opção de especificar um QoS individual. Assim, o LIJ não resolve o problema da combinação entre RSVP e ATM com respeito à heterogeneidade do receptor.

Por esta razão, diversos trabalhos [BERNET 00] e [ATM 96a] abandonaram o objetivo da heterogeneidade plena e introduziram uma heterogeneidade limitada ou um modelo homogêneo modificado [GARRETT 98]. Com a heterogeneidade limitada, um serviço *best effort* é a única alternativa de QoS que é oferecida, visto que somente um VC com a máxima QoS requisitada é estabelecido em um modelo homogêneo modificado.

4.9 MPLS sobre ATM

Dois problemas adicionais ao gerenciamento de conexões IIS foram identificados com MPLS sobre ATM: escassez de rótulos e intercalação de células (agregação de vários canais virtuais) [PAGANI 00].

Os rótulos de comutação ATM são codificados nos campos de identificação de canais virtuais VPI e VCI no cabeçalho das células. Os rótulos são limitados ao tamanho máximo de 28 bits. O tamanho desses campos causa um grave problema de escassez de rótulos no ATM, que é agravado pela operação compartilhada do comutador: padrão ATM Fórum, MPLS, circuitos dedicados, etc. Este método de operação é conhecido como *ships-on-the-night* e divide o espaço de rótulos (VPI/VCI) entre os diversos modos. O protocolo RSVP exige mais identificadores para seus fluxos com QoS, agravando ainda mais o problema de escassez de rótulos.

Utilizando comutadores com esses tipos de comutação existem três maneiras de se implementar agregação de conexões [PAGANI 00]: é possível a utilização de

roteamento de caminhos virtuais (VPI) para agregar o tráfego em diferentes canais virtuais (VCI) – denominado de comutação VP; utilizar a AAL3/4 que permite multiplexar fluxos; ou usar a camada AAL5 com comutadores que armazenam células nas portas de entrada ou saída – denominado de comutação VC.

A primeira solução não é eficiente pois a atribuição de um caminho virtual a um VP agregado pode desperdiçar muitos canais virtuais. Além disso, essa solução representa apenas uma forma de organizar o tráfego nos campos VPI/VCI e não uma agregação real.

A segunda solução desperdiça parte da largura de banda pois utiliza alguns bits da célula ATM para multiplexar os canais e apenas um pequeno número de conexões podem ser multiplexadas. Além disso, essa camada não é utilizada como padrão para envio de dados.

A camada AAL-5 é amplamente utilizada para transmissão de dados devido ao seu método mais eficiente de encapsulamento. Porém, a AAL-5 não é capaz de multiplexar o tráfego proveniente de vários canais virtuais. Essa característica causa o problema de intercalação de células: se células de diferentes fluxos forem misturadas em um mesmo canal virtual não há como demultiplexá-las posteriormente. Desta maneira, os rótulos não poderiam ser associados a fluxos agregados. A terceira solução utiliza uma modificação no envio das células de forma a habilitar a camada AAL5 multiplexar canais virtuais [PAGANI 00]. As células que formam um quadro AAL5 só são transferidas pela interface de saída em bloco após a chegada da última célula que forma o quadro e que é marcada com o bit de término AAL-5.

4.9.1 Protocolo de Gerenciamento de Comutação

O protocolo GSMP (*General Switching Management Protocol*) permite ao controle de uma arquitetura MPLS estabelecer e gerenciar os circuitos na malha de comutação ATM. Entre outras funções, o GSMP permite a obtenção de estatísticas de uso do canal de comunicação, a requisição de parâmetros de configuração do comutador e a notificação sobre ocorrência de eventos assíncronos (erros em portas). O protocolo GSMP torna o controle do comutador independente do *hardware*. Desta forma, a complexa sinalização ATM pode ser substituída pelo controle direto da camada de rede sobre a comutação [PAGANI 00].

A versão 3.0 do protocolo GSMP [NEWMAN 98] oferece o suporte a vários modelos de serviços, incluindo: IIS e ATM. Os parâmetros de QoS podem ser configurados pelo envio de mensagens GSMP de acordo com o modelo e podem ser associados individualmente, a cada ramo da malha de difusão. A associação individual soluciona os problemas de heterogeneidade e comportamento dinâmico. Os parâmetros do comutador, como tamanho de filas e prioridades, são modificados de acordo com os parâmetros de QoS enviados pelo GSMP.

O protocolo GSMP é utilizado para controlar o comutador ATM de modo a estabelecer conexões, controlar o escalonamento e suportar níveis diferenciados de QoS [PAGANI 00]. Desta forma, a sinalização ATM é substituída pelo controle IP/RSVP que estabelece conexões *multicast* com níveis variados de QoS por ramo da malha de difusão, resolvendo o problema de heterogeneidade e comportamento dinâmico de tráfego.

No próximo capítulo, apresentam-se os principais problemas relacionados ao desempenho das redes TCP/IP sobre ATM. Estes problemas influenciam diretamente no *throughput* de um ambiente de rede TCP/IP sobre ATM. Serão discutidas soluções para os problemas de desempenho deste ambiente.

5 Análise do Desempenho do Tráfego TCP sobre ATM

5.1 Introdução

A tecnologia de redes ATM promete ganhos significativos com a integração de diferentes tipos de serviços (áudio, vídeo e dados) na mesma rede. Entretanto, recentes estudos mostram que algumas características do ATM, junto com a forma como o TCP atua sobre o ATM, causam uma degradação considerável no *throughput* do TCP.

Atualmente, o problema de desempenho das redes TCP/IP sobre ATM resulta em um super dimensionamento dos recursos da rede (alto custo), tal como a largura de banda do link. Quanto ao super dimensionamento, a rede fornece uma solução *ad hoc* para o problema de desempenho [HASSAN 00]. Entretanto, não oferece uma solução econômica e escalável para o futuro. Para resolver o problema de desempenho, mais eficientemente, é necessário compreender as origens atuais do problema que, normalmente, envolve as complexas interações entre os protocolos TCP/IP e ATM.

A seguir são apresentados os principais problemas relacionados ao desempenho das redes TCP/IP sobre ATM [HASSAN 00]:

1. Perda de largura de banda do link devido ao *overhead* do protocolo ATM (também conhecido como taxa de células ATM);
2. Perda das células ATM;
3. *Delay* do estabelecimento da conexão ATM;
4. Interação entre o controle de congestionamento TCP e o controle da taxa do ATM;

5. Efeito da MTU⁴ (*Maximum Transfer Unit*) ATM grande para IP sobre ATM;
6. Limitação do tamanho da janela TCP padrão para conexões ATM de alta velocidade.

Algumas soluções e mecanismos de endereçamento para estes problemas, serão discutidos no decorrer deste capítulo.

5.2 *Overhead* do protocolo ATM

O protocolo de comunicação de uma determinada camada transmite uma informação dela mesma, junto com os dados recebidos da camada de cima. Este protocolo com a informação adicionada é o chamado *overhead* do protocolo. Tal *overhead* é usualmente anexado ao cabeçalho e/ou no decorrer do trajeto da informação recebida da camada superior. O *overhead* do protocolo não faz parte dos dados dos usuários e, desta forma, entende-se como sendo perda de largura de banda, na perspectiva do usuário.

A transmissão eficiente é, particularmente, importante para links de comunicação de longas distâncias, onde a largura de banda é considerada muito cara. Para ilustrar isso, podemos considerar uma linha alocada de 100 Kbps, entre a Austrália e os EUA, para uma corporação multinacional com escritórios em ambos. Se o *overhead* do protocolo contribuir com 20% no total do tráfego, isto significa que somente 80 Kbps estarão disponíveis para o transporte de dados; o restante da largura de banda é consumida pela comunicação da própria rede (endereçamento). Se a corporação necessita de 100 Kbps de banda disponível, terá que super dimensionar a capacidade do link para 125 Kbps (80% de 125 é 100). Este aumento do custo efetivo da largura de banda disponível requer um custo adicional.

Para avaliar a eficiência da transmissão de uma rede TCP/IP sobre ATM, temos que examinar a pilha do protocolo ATM completa, incluindo a camada física e de adaptação, suportando a transmissão do TCP/IP sobre o ATM com 3 protocolos da camada física: SONET (OC-3 para 155.52 Mbps e OC-12 para 622.08 Mbps), TAXI (controlador das células ATM) e DS3 (estrutura da célula de 53 bytes) [HASSAN 00].

⁴ MTU (*Maximum Transfer Unit*) – define o limite superior em termos de tamanho do segmento.

Os pacotes TCP são primeiro encapsulados em datagramas IP, os quais são encapsulados dentro de pacotes AAL5, repassados até a camada física e, finalmente, transmitidos pelo link.

O trajeto do datagrama IP está encapsulado nos pacotes AAL5, influenciando no cálculo da eficiência do IP sobre o ATM. A RFC1483 fornece duas opções de encapsulamento de datagramas IP dentro de pacotes AAL5: (1) pacotes IP podem ser encapsulados diretamente dentro dos pacotes AAL5 sem um cabeçalho LLC – controle lógico do link (que serve para multiplexar VCs, os quais requerem a separação dos VCs dos protocolos das camadas superiores) ou (2) através de um cabeçalho LLC de 8 bytes, que é anexado ao datagrama IP, antes do encapsulamento no pacote AAL5 (multiplexação diferente dos protocolos das camadas superiores, dentro de um único VC).

Devido ao trajeto dos datagramas IP através das 3 camadas de protocolos – o AAL5, o ATM, e a física – antes de ser transmitido ao link, acrescenta-se todos os cabeçalhos da camada física para o AAL5 no cálculo da eficiência da transmissão do IP sobre o ATM.

A Tabela 5.1 mostra a eficiência de transmissão de cada camada no envio de dados para a camada superior. As primeiras 4 linhas mostram a eficiência das 4 diferentes camadas físicas das redes ATM. A eficiência da camada ATM é mostrada na quinta linha. A sexta linha mostra a eficiência da camada AAL5, para 4 diferentes tamanhos de datagramas IP: para datagramas de 44 bytes, usado na Internet com frequência; datagramas com 576 bytes de IP, com destino remoto; de 1500 bytes, gerados por redes Ethernet e 9180 bytes, de fontes IP diretamente conectados em uma rede ATM. Como pode-se perceber, exceto na AAL5, todos os protocolos têm um coeficiente de eficiência fixo; a AAL5 tem uma eficiência variável que depende do tamanho do datagrama IP.

Tabela 5.1 – A Eficiência da Transmissão dos Vários Protocolos

Protocolo	Eficiência de Transmissão
SONET OC-3c	96.3%
SONET OC-12c	96.57%
TAXI	96.36%
DS-3	90.99%
ATM	90.57%
AAL5	45.83% (para datagramas IP de 44 bytes)
	92.31% (para datagramas IP de 576 bytes)
	97.66% (para datagramas IP de 1.500 bytes)
	99.61% (para datagramas IP de 9.180 bytes)

Os cabeçalhos das camadas individuais, com os protocolos empilhados um no topo do outro, têm um efeito na transmissão executada pelo IP sobre o ATM [HASSAN 00]. Por exemplo, datagramas de 44 bytes com a opção do link SONET OC-3c, terão 96.3% da largura de banda disponível para a camada ATM, 87.22% para a camada AAL5 (90.57% de 96.3 é 87.22), e finalmente 39.97% para a camada IP (45.83% de 87.22 é 39.97).

A transmissão feita por datagramas IP de diferentes tamanhos, direcionada para a camada física é calculada similarmente, como mostrado na Tabela 5.2. A primeira coluna mostra os diferentes tamanhos de datagramas IP. Para cada tamanho de datagrama, na terceira coluna, é mostrada a eficiência de transmissão (percentagem da largura de banda do link disponível para o IP) para as 4 diferentes camadas físicas (coluna 2). A largura de banda total do link e o *throughput* efetivo da camada IP – depois os cabeçalhos de todas camadas – são mostrados na quarta e quinta coluna, respectivamente. Os valores da quinta coluna são obtidos pela multiplicação da coluna 4 pela coluna 3.

Tabela 5.2 – A Eficiência de Transmissão das Redes IP sobre ATM

Datagrama IP	Camada Física	Eficiência	Largura de Banda do Link Raw	Largura de Banda Max. Efetiva
44 bytes	SONET OC-3c	39.97%	155.52 Mbps	62.16 Mbps
	SONET OC-12c	40.08%	622.08 Mbps	249.33 Mbps
	TAXI	40.00%	100 Mbps	40 Mbps
	DS-3	37.77%	44.736 Mbps	16.90 Mbps
576 bytes	SONET OC-3c	80.51%	155.52 Mbps	125.21 Mbps
	SONET OC-12c	80.74%	622.08 Mbps	502.27 Mbps
	TAXI	80.56%	100 Mbps	80.56 Mbps
	DS-3	76.07%	44.736 Mbps	34.03 Mbps
1.500 bytes	SONET OC-3c	85.18%	155.52 Mbps	132.47 Mbps
	SONET OC-12c	85.42%	622.08 Mbps	531.38 Mbps
	TAXI	85.23%	100 Mbps	85.23 Mbps
	DS-3	80.48%	44.736 Mbps	36.00 Mbps
9.180 bytes	SONET OC-3c	86.88%	155.52 Mbps	135.12 Mbps
	SONET OC-12c	87.12%	622.08 Mbps	541.96 Mbps
	TAXI	86.93%	100 Mbps	86.93 Mbps
	DS-3	82.09%	44.736 Mbps	36.72 Mbps

Na Tabela 5.2 também verifica-se que a escolha da camada física influencia pouco na eficiência de transmissão. Entretanto, a eficiência depende significativamente do tamanho dos datagramas IP. Para datagramas IP pequenos a eficiência é significativamente baixa; em torno de 40% para datagramas IP de 44 bytes, independente da escolha da camada física. A eficiência é melhorada para datagramas grandes, cerca de 80% de eficiência para datagramas de 576 bytes, e mais ainda para datagramas de 9180 bytes.

Devido à eficiência do ATM depender do tamanho dos datagramas IP, é importante verificar o tamanho do datagrama IP na Internet para avaliar a eficiência do IP sobre o ATM. Estudos do modelo de tráfego da Internet mostram que o tamanho dos pacotes varia entre 44, 576 e 1500 bytes. Uma análise – tomando como base a distribuição do tamanho do datagrama – acima de 16 bilhões de datagramas observados

(acima de 5 trilhões de bytes de datagramas IP), em link de um backbone de Internet comercial de alta velocidade, mostra que o IP sobre o ATM têm uma eficiência de 80% na camada ATM se o encapsulamento do LLC é usado, isto sem considerar o *overhead* da camada física. A eficiência é aperfeiçoada para 84.47% se a multiplexação do VC for usada para encapsular o IP sobre AAL5 [HASSAN 00].

Este alto *overhead* do ATM é relacionado à taxa de células. Devido à alta taxa de células, alguns ISPs já estão considerando outras alternativas para o ATM, como por exemplo, IP diretamente sobre SONET. Entretanto, há um grande grupo que suporta IP sobre ATM mesmo com a alta taxa de células. O argumento usado é que a taxa de células é um valor pequeno para satisfazer a economia da largura de banda que o ATM proporciona, estatisticamente, ao multiplexar um grande número de rajadas de tráfego Internet dentro do mesmo canal. Em contraste, o SONET é um mecanismo de transmissão síncrona; uma vez que um circuito é estabelecido, a largura de banda deste circuito não pode ser compartilhada por outros circuitos mesmo se o circuito ficar subutilizado. Então, é provável que o ATM continue a servir como um backbone para o tráfego Internet.

5.3 Efeitos das Perdas de Células do ATM no TCP/IP

Uma das principais vantagens do ATM é a utilização eficiente da largura de banda do link através da multiplexação estatística de um grande número de rajadas (taxa variável) de fontes de tráfego de entrada, para dentro de um único link de saída. Com a multiplexação, a capacidade do link de saída é menor do que a soma da taxa de pico de todas as conexões ATM, mas superior à taxa média de todas as conexões. A vantagem estatística está na soma das taxas de pico que excedem a capacidade do link de saída. O ATM permite multiplexação de células dentro dos *switches*.

A consequência direta da multiplexação estatística é o congestionamento do link de saída quando o total da taxa de entrada exceder à capacidade do link de saída. A técnica usada para contornar o congestionamento temporário em um multiplexador estatístico está no *buffer*, para as células excedidas, até que a taxa de entrada total esteja abaixo da capacidade do link [HASSAN 00]. Entretanto, devido à capacidade limitada, se o congestionamento persistir nos *buffers*, poderá ocorrer um *overflow*. Então, a entrada de células é descartada enquanto o *buffer* estiver em *overflow*.

Estudos de simulação revelam que a perda de células ATM prejudica o *throughput* das conexões TCP rodando sobre redes ATM; o *throughput* pode ficar abaixo de 34% do máximo *throughput* alcançável. Para estimar a importância do efeito da perda de células no desempenho do TCP, deve-se compreender todo o processo da comunicação das redes TCP/IP sobre o ATM. Assim, apresenta-se um estudo do tráfego dinâmico do TCP sobre o ATM e o efeito da perda de células no *throughput* do TCP.

Um segmento TCP é encapsulado em um datagrama IP, o qual é encapsulado em um pacote AAL5, que é finalmente segmentado e transmitido em múltiplas células ATM através da rede ATM. Um segmento TCP é dividido em um conjunto de células. A rede ATM perde células quando ocorre *overflows* nos *buffers*, o processo de recuperação da célula perdida é difícil, devido ao alto *overhead*. A camada ATM não implementa a retransmissão de células perdidas, isso é feito na camada superior (AAL5). As células perdidas são detectadas pelo mecanismo de detecção de erro (CRC) na AAL5, no entanto, ela não faz a correção dos erros, é responsável apenas pela detecção. A AAL5 simplesmente descarta o pacote AAL5 inteiro e, conseqüentemente, o segmento que estava sendo transmitido no pacote AAL5 é descartado e não é gerada uma notificação para o segmento. Com a ausência desta notificação, o TCP retransmite o segmento todo, o que resulta na retransmissão de muitas células. Tal retransmissão acarreta mais congestionamento aos *switches* ATM, sobrecarregando os *switches* e fazendo uso da largura de banda que é escassa.

Outro fenômeno que intensifica o efeito da perda de células é a maneira como as células AAL5 são agrupadas no receptor. A última célula gerada pelo pacote AAL5 é marcada pelo transmissor, setando um bit no cabeçalho da célula. No processo de agrupamento do receptor, esta última célula é usada para delimitar um pacote AAL5 do próximo. Se a última célula é perdida, o processo de agrupamento continua a montar as células dentro do pacote AAL5 até que a última célula do pacote AAL5 é recebida. Isto corrompe não somente o pacote AAL5 da última célula que foi perdida, mas também o próximo pacote AAL5, afetando o *throughput* de múltiplas conexões TCP (cada pacote AAL5 pode carregar segmentos TCP de diferentes conexões).

Quando ocorre a perda de células em uma rede ATM durante o congestionamento, o *throughput* do TCP é afetado de vários modos. Primeiro, pelo fato

da largura de banda ATM ser usada para transmissão de células redundantes, onde a largura de banda disponível do link disponível para o TCP é reduzida. Outra razão para o baixo *throughput* do TCP, está na presença de perda de células e no modo como o TCP reage no congestionamento. Quando o tempo de retransmissão for finalizado, o TCP envia um sinal para a rede congestionada e inicia um processo “*slow-start*”, em outras palavras, ele retransmite o segmento para que o temporizador sinalize que expirou o tempo, parando qualquer transmissão (mesmo se há aplicações com dados para transmitir), até receber a confirmação da retransmissão do segmento. Para conexões de longa distância, o atraso no recebimento da confirmação é usualmente muito alto (o atraso do *switch* congestionado também contribui para o atraso do recebimento da confirmação) resultando na redução do *throughput* do TCP [HASSAN 00].

O tamanho do buffer de um *switch* tem um impacto na taxa de perda de células. Para *buffers* pequenos, células são perdidas em grandes quantidades causando perdas significativas no *throughput* do TCP.

Uma estimativa do efeito da perda de células no desempenho do TCP foi simulada, com um número de configurações (diferentes combinações do tamanho do segmento TCP e tamanho do *buffer* do *switch*), para 10 conexões TCP multiplexadas dentro de um único link de um *switch* ATM. O estudo mostrou que para certas configurações, o *throughput* do TCP alcançado foi abaixo de 34% do *throughput* máximo possível. Um número de medidas foram sugeridas para endereçar o fluxo de células perdidas e o efeito delas no desempenho do TCP. Estas medidas incluem grandes *buffers* para os *switches* ATM (para serviços UBR), fornecimento de um *feedback* do congestionamento para as fontes do tráfego (para serviços ABR) e correção de erros na camada AAL para recuperar as células perdidas.

5.4 Delay da Configuração de uma conexão ATM

O ATM é uma tecnologia de rede orientada à conexão. Uma conexão ATM entre a fonte e o destino é estabelecida primeiro, para depois transmitir dados. A conexão é liberada no final da transmissão dos dados. Isto é similar a uma rede de telefonia por voz, onde primeiro disca-se o número do telefone para a pessoa com quem se deseja conversar, conversamos somente depois de obtermos a conexão, e então

desligamos quando terminamos a conversa. A diferença entre rede de telefonia e ATM é que as conexões em redes ATM não são circuitos físicos dedicados, eles são somente circuitos lógicos, ou VCs. Muitos VCs são multiplexados dentro de um mesmo canal na rede, para o eficiente uso da largura de banda.

Estabelecer um VC fim a fim é uma tarefa complexa que envolve mais que um *switch* na rede ATM, assim como um terminal de origem e destino. É nos *switches* que é examinada a carga corrente da rede e é determinado se os recursos disponíveis (por exemplo, espaço no *buffer* e largura de banda do link) são suficientes para garantir o serviço requerido pela conexão.

O *delay* de configuração de um conexão em uma rede ATM afeta o desempenho do TCP sobre o ATM. O TCP é um protocolo da camada de transporte, enquanto o ATM serve como um protocolo da camada 2 no modelo TCP/IP sobre ATM. Devido a esta distância das camadas, ela não tem um mapeamento um-para-um entre uma conexão do nível TCP e uma conexão do nível ATM. Também pode não ser desejável para alinhar a configuração do nível ATM com o nível TCP, como para muitas das aplicações interativas (por exemplo, TELNET), a conexão TCP transmite mensagens curtas com longos períodos de tempo entre elas. Para uma conexão do nível ATM mantida, o tempo de vida de conexão TCP resultaria em desperdício de recursos da rede. Para diminuir os recursos ocupados da rede pelas conexões ATM livres, é desejável liberar a conexão ATM depois da mensagem ser transmitida e estabelecer outra quando a próxima mensagem chegar. Portanto, durante o tempo de vida de uma conexão TCP única, é possível que haja muitas conexões ATM estabelecidas e liberadas.

O impacto da configuração de uma conexão ATM no desempenho do TCP sobre o ATM pode ser reduzido gerenciando o estabelecimento e a liberação das conexões, nas interfaces de rede IP/ATM. Por exemplo, ao invés de liberar a conexão ATM após a transmissão da mensagem, a conexão poderia ser mantida para outra mensagem que estaria chegando em um futuro próximo. Entretanto, a camada ATM não pode prever o tempo de chegada da próxima mensagem da camada TCP. A tarefa de determinar o tempo de espera de uma conexão ATM é variável, o que dificulta o gerenciamento.

5.5 Efeitos do Controle da Taxa ABR no desempenho do TCP

Os serviços UBR e ABR são dois serviços ATM projetados para suportar a comunicação de dados baseado no TCP/IP tradicional. A diferença entre o UBR e o ABR é que, o ABR fornece um *feedback* do congestionamento para os usuários e o controle da taxa de transmissão dos usuários para manter a rede ATM livre de congestionamento, enquanto que o UBR não fornece nenhum *feedback* do congestionamento para os usuários. O UBR confia somente nas técnicas de controle de congestionamento implementadas dentro do protocolo da camada de transporte (Ex.: TCP). Como o ABR fornece um bom controle de congestionamento, a perda de células na rede ATM é bastante reduzida [HASSAN 00].

Muitas implementações TCP sobre ATM estão sendo baseadas no serviço ABR. Consideremos o ambiente da rede da Figura 5.1, onde na configuração da rede há 2 *loops* de controle independentes, trabalhando juntos; um é o *loop* de controle da taxa ABR limitado pelos dois roteadores de bordas em ambas extremidades da rede ATM, e o outro, é o *loop* de controle de congestionamento TCP fim-a-fim, entre os hosts TCP fonte e destino. O único propósito do *loop* ABR é eliminar o congestionamento dentro da rede ATM pelo controle da taxa de transmissão dos roteadores [HASSAN 00]. Vale salientar, que o *feedback* do controle da taxa ABR não se estende até os *hosts* TCP. O objetivo do *loop* de controle de congestionamento TCP é controlar a transmissão dos *hosts* TCP conforme o congestionamento do caminho fim-a-fim, incluindo o congestionamento dos roteadores ou da rede ATM.

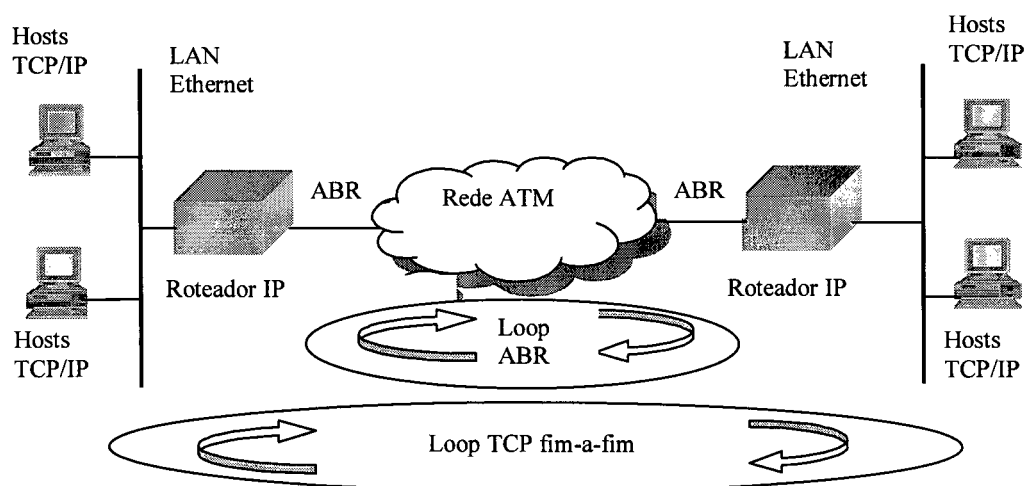


Figura 5.1 – Duas LANs Ethernet remotas interconectadas via ATM com serviço ABR.

Pesquisadores dizem que a interferência entre estes dois *loops* de controle independentes pode degradar o desempenho fim-a-fim do TCP. O efeito do controle ABR na rede está em transferir o congestionamento de dentro da rede ATM para os roteadores de borda [HASSAN 00].

Então, embora o controle ABR tenha demonstrado ser efetivo no controle do congestionamento na rede ATM, o desempenho fim-a-fim do TCP sobre ABR no ambiente inter-redes (sub-redes IP interconectadas via um backbone ATM) pode ser pior do que conexões com o UBR. Com conexões UBR, a taxa de transmissão dos roteadores não é controlada por nenhum mecanismo de controle.

O principal problema do desempenho do TCP sobre ABR, a perda de pacotes nos roteadores de borda, pode-se solucionar com a implementação de *buffers* maiores nos roteadores ou implementação de algoritmos inteligentes nos roteadores para acionar uma ponte entre os dois *loops*, e através disso realizar um *loop* de controle mais efetivo. A abordagem anterior não é escalável e aumentará o *delay* e a variância do *delay* nos roteadores e afetam outros tráfegos de *delay* sensível compartilhado no link ABR.

5.6 MTU ATM grande e Deadlock do TCP

Em redes de pacotes comutados, dados são carregados em pacotes de tamanho limitado. Quando o tráfego IP é transportado sobre uma determinada rede (Ex. Ethernet), um datagrama IP é encapsulado no *payload* do pacote da rede. O MTU de uma determinada rede é o tamanho máximo do *payload* de um pacote da rede. Então, para comunicação TCP/IP sobre uma determinada rede, o MTU refere-se ao tamanho máximo do datagrama IP que pode ser permitido sobre esta rede.

As células ATM possuem um *payload* pequeno (somente 48 bytes) para o TCP/IP sobre o ATM, a AAL5 é usada entre o IP e o ATM; datagramas IP são encapsulados no *payload* dos pacotes AAL5, os quais são segmentados em pedaços de 48 bytes, ajustados à célula ATM. A AAL5 tem um *payload* capaz de guardar um datagrama IP de 65.535 bytes, possibilitando datagramas IP grandes sobre redes ATM. Entretanto, a IETF selecionou um tamanho *default* para o MTU do IP sobre o ATM de 9.180 bytes.

Os segmentos TCP são encapsulados dentro dos *payloads* IP. O MTU impõe um limite no MSS (*Maximum Segment Size*) para o TCP. O TCP e o IP juntos têm 40 bytes de cabeçalho. Então, o MSS do TCP possui 40 bytes a menos no MTU. Assim, para a comunicação do TCP/IP sobre o ATM, o TCP permite transmitir segmentos de 9.140 bytes [HASSAN 00]. O efeito da taxa de transmissão das células ATM diminui com o aumento do tamanho do segmento do TCP (eficiência da largura de banda).

O *deadlock* do TCP ocorre durante a conexão do TCP, quando o emissor espera por um reconhecimento de um receptor antes de ele enviar os dados, e o receptor espera por mais dados do emissor antes dele gerar o reconhecimento. A probabilidade de ocorrer um *deadlock* do TCP aumenta com o MSS grande. Portanto, como o MSS do TCP sobre o ATM é grande, há grande chance de acontecer o *deadlock* do TCP, degradando o desempenho do mesmo.

O evento que produz o *deadlock* do TCP depende do número de operações complexas do sistema e da implementação das peculiaridades do protocolo TCP. Para um maior esclarecimento consultar [HASSAN 00].

5.7 TCP sobre links ATM de Largura de Banda com Delay Alto

O tamanho do campo da janela do cabeçalho TCP é de 16 bits, permitindo um tamanho de janela máximo de 2^{16} ou 64 Kb. Embora o tamanho da janela de 64 Kb pareça ser suficiente, torna o desempenho do TCP um gargalo para links ATM de alta velocidade, com a propagação do *delay*.

Por exemplo, um link ATM transcontinental de 155 Mbps com *um delay round-trip* (de ida e volta) de 100 ms. Para este link de largura de banda com *delay* alto, levará 100 ms de *delay* para receber um ACK do receptor. Neste tempo, 1.94 Mb poderia ser enviado. Para aumentar a utilização do link sobre o ATM, o uso de opções de escala das janelas do TCP permite usar uma janela com tamanho de até 1 Gb. Para maiores informações consultar [HASSAN 00].

No próximo capítulo, é apresentado um estudo de caso de um ambiente TCP/IP visando analisar o comportamento de parâmetros de QoS, como o *delay*, através do uso de técnicas de simulação.

6 Estudo de Caso: Análise de Tráfego de Ambientes TCP/IP sobre ATM usando Simulação

6.1 Introdução

Há uma grande expectativa de integração das redes de voz e dados em uma única rede de alta velocidade, na qual aplicações vão se utilizar intensivamente de recursos multimídia (videoconferência, voz sobre pacotes e redes de dados móveis). Essas aplicações demandam controle de QoS e uma crescente capacidade de tráfego, implicando em consumo excessivo da largura de banda, recurso este considerado escasso, que deve ser compartilhado por todas essas aplicações.

O levantamento bibliográfico feito nos capítulos anteriores, direcionam para um melhor entendimento das tecnologias que envolvem a transmissão de dados usando a tecnologia de redes IP/ATM, desta forma, também pode-se perceber as diferentes tecnologias e confrontações entre estas, de modo a atingir um objetivo comum que é a QoS no ambiente IP/ATM.

6.2 Comentários sobre a Integração do IP/ATM

A arquitetura clássica da Internet foi desenvolvida com base nos protocolos TCP/IP, que possuem apenas um único tipo de serviço baseado em envio de pacotes com escalonamento por ordem de chegada (*first in, first out*), conhecido como melhor-esforço (*best effort*). Esse serviço transmite cada pacote de forma independente, onde a qualidade no envio do pacote depende da carga momentânea da rede. Não há qualquer tipo de sinalização para controle de tráfego, tanto para a fonte como para o receptor. Não há disponibilidade de parâmetros para controle de QoS como, por exemplo, atraso de propagação (*delay*) ou taxa de transmissão (*throughput*).

O termo “Serviços Integrados à Internet” (IIS) é utilizado para definir um modelo de serviços específico que agrega suporte às características de tempo real e controle de QoS à Internet. Este modelo adiciona novos serviços para tratamento de tráfego na arquitetura IP, além de manter o atual serviço de envio sem confiabilidade. O protocolo RSVP foi padronizado como o mecanismo de sinalização para troca de informações de controle sobre requisições de QoS e níveis de recursos entre os roteadores, fontes e receptores IP.

A tecnologia de redes ATM foi escolhida e adotada como a forma de implementar a infra-estrutura das redes RDSI-FL, sendo padronizada como meio de transmissão. Esses fatos transformaram a tecnologia ATM em um padrão de fato para integrar em um só meio as transmissões de áudio, vídeo e dados.

Neste contexto, a implantação de novos serviços para a arquitetura IP pode utilizar-se das facilidades de QoS oferecidas pelas redes ATM como meio de enlace, segundo o modelo OSI (*Open Systems Interconnection*). Entretanto, como foi apresentado no capítulo 4, a integração entre IP e ATM é potencialmente complexa. Existem diferenças de operação entre as duas arquiteturas, principalmente no modo de oferecer QoS (modelos de serviços) e gerenciamento de conexões [BERGER 98].

6.3 Fundamentação do Estudo de Caso

O crescente surgimento de aplicações que requerem alta *performance* e QoS está fazendo com que sejam estudados modos de prover a QoS exigida pelas novas aplicações. O uso do IP sobre o ATM é uma tecnologia que está em constante estudo, visando usufruir das vantagens da tecnologia ATM para buscar a QoS requerida. Como forma de integração do IP/ATM foram apresentadas as tecnologias LANE, IPOA e MPOA, as quais foram discutidas no Capítulo 3. Neste trabalho, o protocolo utilizado para a integração destas duas tecnologias foi baseado no LANE, por ser o protocolo mais usado na rede da UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), desta forma, facilitando a busca de referências e conhecimento deste ambiente.

Neste contexto, este trabalho visa analisar o comportamento dos parâmetros de QoS, principalmente o *delay* de transmissão de um ambiente de rede IP/ATM. Esta análise foi realizada através do uso de técnicas de simulação, mais precisamente, através do uso da ferramenta COMNET III [COMNET 98], na qual foram implementados os

modelos para análise do comportamento do *delay*. Paralelo a isso, foi feita uma análise dos mecanismos relacionados ao endereçamento, roteamento, sinalização e controle de tráfego da tecnologia IP/ATM.

Além disso, o trabalho teve como objetivo analisar as técnicas e protocolos que realizam a integração, validação e demonstração da funcionalidade e do controle de tráfego dos serviços integrados IP/ATM, com a finalidade de fornecer QoS garantida fim-a-fim. Conceitos de SLA e SLM foram utilizados como forma de definir e garantir a QoS fim-a-fim. Desta forma, permitir-se-á o uso mais adequado dos aplicativos, que requerem QoS, fazendo uso da tecnologia de redes IP/ATM.

6.4 Seleção da Técnica de Avaliação

A escolha de uma técnica de avaliação baseia-se em alguns critérios bastante simples, mas de vital importância. Estes critérios estão relacionados, principalmente, ao tempo disponível para os trabalhos e os custos envolvidos, mas é claro que outros fatores são determinantes, tais como: validação, precisão e aceitabilidade. Os critérios que mais são considerados são: o custo e o tempo, estes são determinantes na escolha da técnica de avaliação. Na Tabela 6.1 é apresentada uma relação entre as técnicas de avaliação baseada nos critérios de custo e tempo.

Tabela 6.1 - Seleção da técnica de avaliação

Critério	Técnica de Avaliação		
	Modelagem Analítica	Simulação	Medição
Custo	Pequeno	Médio	Alto
Tempo	Pequeno	Médio	Variável

Neste trabalho utilizou-se uma ferramenta de simulação direcionada à redes (COMNET) que possibilite uma maior agilidade no processo de modelagem, e que posteriormente, permita traçar projeções sobre o modelo criado, analisando e comparando os resultados em diferentes cenários. Na próxima seção é descrito um breve comentário sobre o uso da técnica de simulação, assim como, uma metodologia para desenvolvimento de modelos de simulação de sistemas.

6.4.1 Modelagem e Simulação de Cenários de Redes de Computadores.

A simulação se mostrou como uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real. A grande vantagem da simulação reside no fato de permitir a análise de diversas alterações no cenário virtual, sem custo, e o risco de atuar no cenário real.

Através do uso de técnicas estatísticas e modelagem matemática aplicada a uma ferramenta de simulação específica, pode-se estimar com um certo grau de certeza o desempenho de um sistema, permitindo realizar testes e suposições sem interferir no funcionamento deste, considerando e avaliando seus inúmeros componentes e aplicações e, determinando o comportamento e otimização do sistema modelado.

A simulação constitui-se de uma técnica que permite modelar, avaliar e prever a capacidade dos sistemas (Exemplo: redes de computadores). No diagrama da Figura 6.1 é apresentada uma metodologia [FREITAS 99] que mostra as etapas a serem seguidas para o desenvolvimento de um modelo de simulação de um sistema.

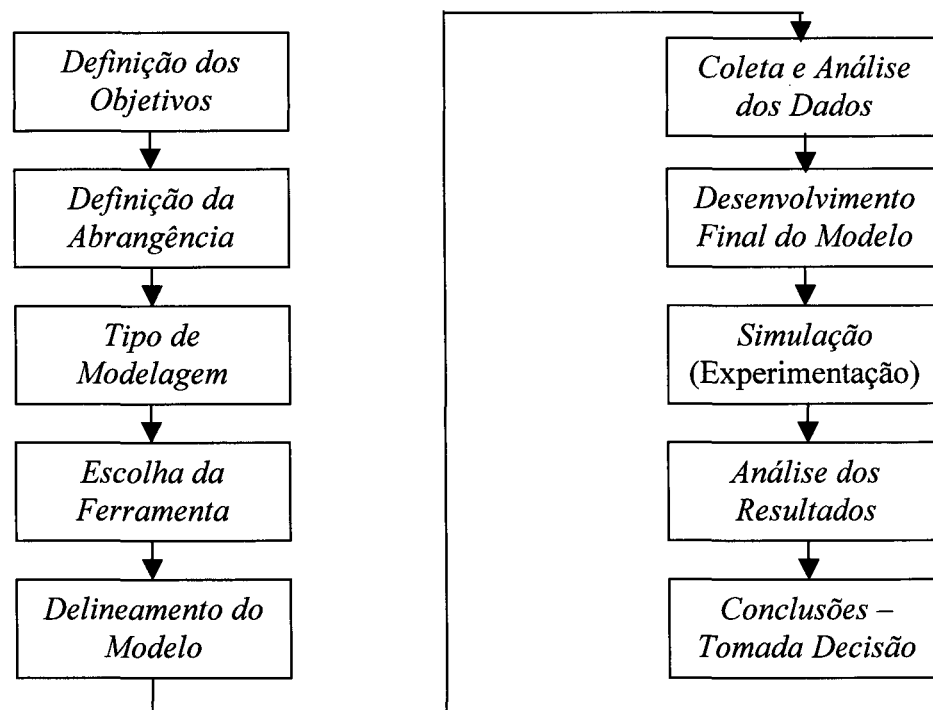


Figura 6.1 – Diagrama do processo de abordagem e etapas do projeto

A abordagem de um projeto inicia com a definição de objetivos razoáveis e realizáveis. Além das questões relativas à abrangência e ao nível de detalhes que será considerado, é necessário escolher a ferramenta a ser utilizada no processo de

modelagem. O nível de detalhamento adotado no modelo deverá ser compatível com os objetivos estabelecidos.

Deve-se optar por ferramentas de simulação específicas para o sistema que será modelado. Neste trabalho optou-se por utilizar o COMNET, ferramenta específica para modelagem e simulação de redes de computadores. Outra ferramenta que é bastante utilizada para simulação de redes é o NS (*Networks Simulator*), esta apresenta vários componentes que permitem desenvolver modelos de simulação de diferentes tecnologias de rede, inclusive de ambientes de rede TCP/IP sobre ATM. A escolha pelo COMNET, foi devido à facilidade de conhecer (aprender) a ferramenta e também, por esta possuir um ambiente de modelagem totalmente gráfico.

Feita a escolha da ferramenta e esboçado um perfil preliminar do modelo, é preciso traçar um plano para a aquisição dos dados necessários. Esta tarefa constitui-se de uma boa precisão (através de monitorações ou fontes de dados – arquivos), considerando que “dados ruins fornecerão resultados péssimos”. Depois a simulação poderá ser realizada. Todas as conclusões devem ser baseadas em análises estatísticas procedentes.

As técnicas de modelagem constituem-se de ferramentas imprescindíveis no planejamento, validação e análise de projetos. Normalmente estas ferramentas disponibilizam recursos para trabalhar com:

- Funções estatísticas e distribuições de probabilidade para a geração dos dados;
- Filas com controle de acesso para gerenciamento do limite de alocação dos recursos;
- Funções para obtenção precisa de resultados estatísticos;
- Características automáticas de filas(Ex: tempo de fila, tamanho da fila ...);
- Capacidade gráfica interativa para construção de modelos;
- Um depurador interativo para controle e monitoria da execução da simulação.

Pelas descrições das potencialidades do uso de simulação é que optou-se pelo uso de simuladores para validar o trabalho proposto. Embora, também poderia ser utilizada a técnica de modelagem analítica ou medição para fins de comparação com a simulação. Indiferente da ferramenta usada para a modelagem e simulação convém salientar que, da mesma forma, podem ser desenvolvidos modelos matemáticos (modelagem analítica) utilizando-se de recursos computacionais e obter-se resultados semelhantes. A seguir apresenta-se, uma descrição prévia da ferramenta COMNET, a qual foi utilizada para o desenvolvimento dos modelos de simulação do ambiente de estudo.

6.5 A Ferramenta COMNET III

O COMNET é uma ferramenta específica para modelar sistemas de redes de computadores. Esta ferramenta fornece uma série de funcionalidades, como: simular o desempenho de aplicações considerando diferentes tecnologias de redes; predizer o comportamento e o desempenho exato da rede antes que ela seja implantada, proporcionando desta forma, redução de custos no caso de existirem falhas. Também podem ser realizados experimentos buscando uma melhor utilização da rede, bem como fazer um planejamento da mesma. É possível fazer uma análise do tráfego (gerência) simulando as operações detalhadas da rede, produzindo animação dinâmica e relatórios que descrevem o desempenho da rede e da aplicação.

O COMNET III permite responder perguntas sobre a utilização do *link*, *delay* e pontos de congestionamento (gargalos). A seguir, são apresentadas algumas das principais características e benefícios da ferramenta [COMNET 98]:

- Permite simular vários tipos de redes, incluindo LAN, WAN, ATM, *Frame Relay*, ponto a ponto, ISDN, SNA, TCP/IP, FDDI entre outras;
- Prevê *delay end-to-end*; *throughputs*, e utilização dos recursos (*links*, processadores);
- Fornece os picos e variações do tráfego;
- Identifica a origem dos gargalos;

- Facilita o gerenciamento da rede e examina o impacto que determinadas alterações na rede irão influenciar no desempenho da mesma.

No contexto deste trabalho, a ferramenta foi usada para analisar o comportamento de parâmetros (*Delay e Throughput*) de QoS de um ambiente de rede IP/ATM. Para esta análise foram desenvolvidos 3 modelos. A seguir apresenta-se a descrição sucinta de cada um deles:

1. Análise de um LANE - este modelo mostra o funcionamento de uma rede TCP/IP sobre ATM, tendo como protocolo de integração o LANE;
2. Análise de parâmetros de QoS em um ambiente ATM – neste modelo apresenta-se a avaliação de diferentes parâmetros de QoS para o tráfego de serviços CBR e ABR em uma rede ATM;
3. Análise do tráfego de uma rede TCP/IP sobre ATM – este modelo consiste de um *backbone* de rede ATM, que integra uma rede *Ethernet* em uma das extremidades e outra rede *Token Ring* na outra extremidade. É feita uma análise do comportamento deste ambiente considerando 2 tipos de serviços, um de transferência de arquivo e o outro de transferência de voz.

A seguir apresenta-se cada um dos modelos acima citados. Vale salientar que estes modelos são bem simplificados. Em cada um deles é feita uma descrição do ambiente e uma análise sucinta do comportamento dos mesmos.

6.6 Modelagem e Análise da Performance do Protocolo LANE em um Ambiente TCP/IP sobre ATM

Este modelo apresenta o funcionamento de um ambiente LANE. Ele mostra o comportamento das relações geradas pelo tráfego do protocolo LANE.

A topologia representa somente as estações que fazem parte de um LANE. Estes são conectados diretamente na rede ATM, como no caso dos LECs. Alternativamente, podem ser conectados à rede ATM via um LAD (*LAN Access Device*). O modelo mostra os módulos LES (*LAN Emulation Server*) e o BUS (*Broadcast and Unknown Server*), os quais são implementados em estações em separado, neste modelo (isto é apenas para o propósito de ilustração neste modelo).

O tráfego consiste de diferentes tipos em um modelo LANE. No LANE, se o LEC não tem o endereço de destino ATM, ele envia um pedido ARP para o LES, que detecta o endereço ATM correspondente para o endereço MAC da LAN tradicional. Isto foi modelado usando uma aplicação de fonte chamada “LANE-I”.

Um pedido ARP primeiro é enviado para o LES. Simultaneamente, o primeiro pacote é enviado para o BUS, para percorrer todas as estações de trabalho da LAN virtual. A aplicação então espera a resposta da LES e estabelece uma conexão com o destino. A Figura 6.2 mostra como foi definida a configuração dos parâmetros dos módulos “LANE-I”.

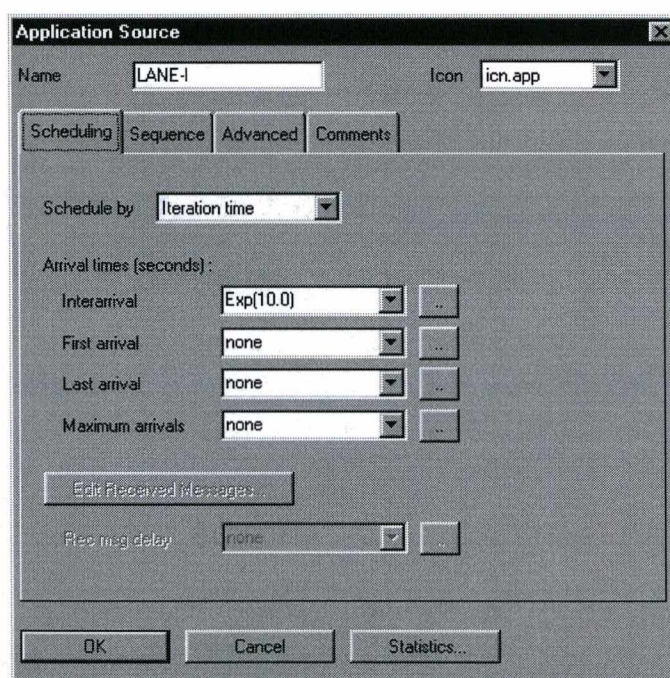


Figura 6.2 – Definição dos parâmetros do módulo LANE-I

O LES responde o pedido ARP depois de um *delay* de tempo. Este *delay* refere-se ao tempo requerido para a obtenção do endereço correspondente. O BUS detecta os pacotes que estão para chegar de todos os membros da VLAN, os quais estão na lista de destino dele através do módulo *projektor*.

O segundo tipo de tráfego é chamado de “LANE-D”. Ele representa o tráfego onde o LEC já conhece o endereço destino. O tráfego derivado de uma estação de trabalho Ethernet é um pouco diferente. As estações de trabalho não implementam a pilha de protocolo LANE/ATM diretamente. Isto é responsabilidade do LAD. Então, se

um LEC envia uma mensagem para uma estação de trabalho a qual está “escondida” atrás de um LAD, a mensagem no modelo é enviada para o LAD, que então manda a mensagem para a estação correspondente no LAN Ethernet, usando a respectiva pilha de protocolo. Similarmente, se uma estação de trabalho da rede Ethernet transmite a mensagem para um LEC, a mensagem é primeiro transmitida para o LAD, o qual então executa o ARP no caso de não conhecer o endereço ou manda diretamente para o respectivo LEC. É por este motivo que a estação de trabalho tem fontes de mensagem Direta (D) e Indireta (I).

As mensagens geradas por aplicações representam pacotes TCP/IP. O tamanho dos pacotes foi estabelecido em 1500 bytes incluindo o cabeçalho do TCP e IP de 40 bytes. Os pacotes TCP/IP são então segmentados em PDUs. As PDUs são especificadas no protocolo de transporte. O backbone de rede ATM pega o quadro Ethernet e divide em células ATM para transmitir. Na Figura 6.3 é ilustrado o modelo.

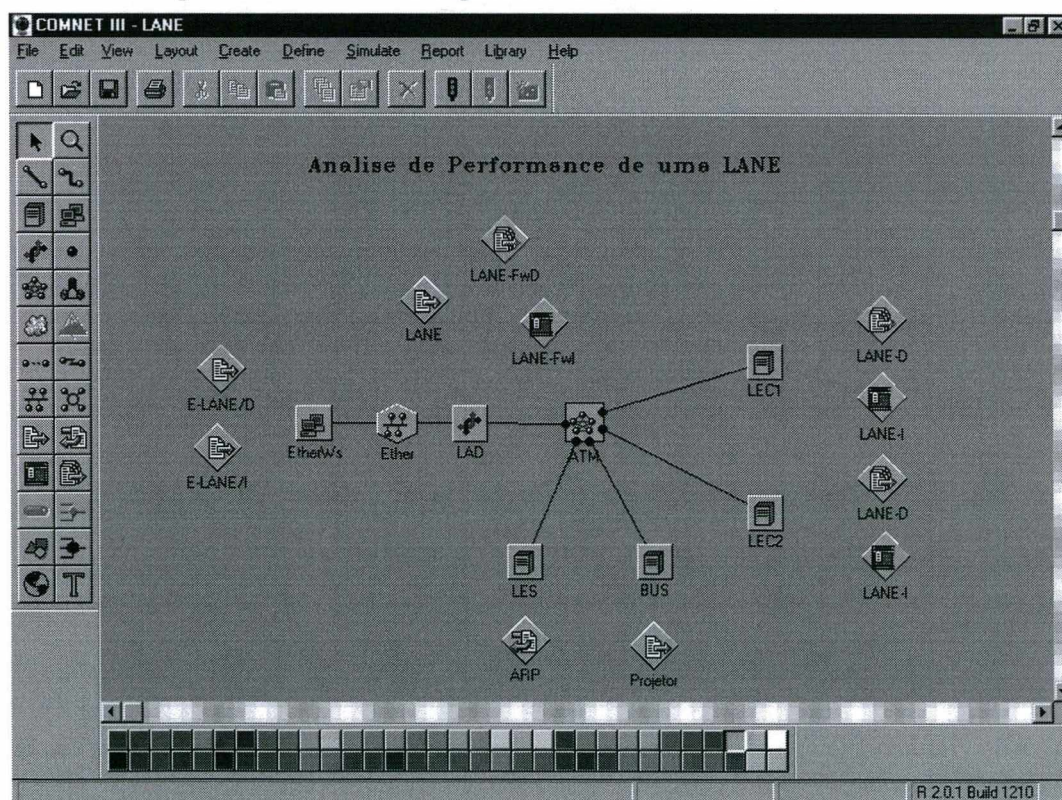


Figura 6.3 – Modelo do Protocolo LANE

A Figura (Figura 6.3) mostra como funciona a interação entre os componentes de um ambiente *Lan Emulation* (LANE). A descrição do que representa cada módulo, que representa as funcionalidades deste ambiente, foi apresentada anteriormente. O

tempo de simulação deste modelo foi de 60 segundos. A seguir são apresentados alguns dos resultados reportados pelo modelo. Para detalhes da construção do modelo ver **Apêndice 1**.

Tabela 6.2 - Utilização dos Links (canais)

Link	Frames Entregues	Delay Médio de Transmissão (ms)	Utilização (%)
ATM.LLEC1 até LEC1@ATM	2659	0.268	1.1868
ATM.LLEC1 até Switch ATM.ATM	104291	0.273	47.45
ATM.LLEC2 até Switch ATM.ATM	108170	0.273	49.21
ATM.LLEC2 até LLEC2@ATM	2787	0.268	1.2454
ATM.LLES até LES@ATM	66	0.276	0.0304
ATM.LLES até LES@ATM	67	0.276	0.0308
ATM.LLAD até LAD@ATM	209245	0.273	95.20
ATM.LLAD até Switch ATM.ATM	27924	0.272	12.67
ATM.LBUS até BUS@ATM	27872	0.273	12.69
ATM.LBUS até Switch ATM.ATM	2144	0.274	0.9759

Na Tabela 6.2 podemos observar a utilização de cada um dos links que compõem a rede, como por exemplo: na primeira linha está mostrando que do módulo ATM até o LEC1 passaram 2659 frames, o tempo médio de *delay* de transmissão foi de 0.268 milésimos de segundos e a utilização do link ficou em torno de 1.18%. Isso deve-se ao fato de que o tráfego gerado na rede é mínimo. Pode-se observar também, na última linha da Tabela 6.2, a utilização do link da rede Ethernet.

Na Tabela 6.3 é apresentado o delay de transmissão dos pacotes da origem para o destino. Por exemplo, na primeira linha, onde temos como origem o LANE-D do LEC2 até o LEC1, o número de pacotes criados foi de 10, sendo que todos foram entregues (não aconteceu perda de pacotes), o *delay* médio para esta transmissão foi de 96.307 milésimos de segundo e o *delay* máximo foi de 174.964 milésimos de segundo. Assim segue para as demais linhas da tabela.

Tabela 6.3 - Delay dos Pacotes

Origem : Destino	Número de Pacotes		Delay dos Pacotes (ms)	
	Criados	Entregues	Média	Máximo
LEC2 / LANE-D: LEC1	10	10	96.307	174.964
LEC2 / LANE-D: LAD	31	31	101.330	236.479
LEC1 / LANE-D: LEC2	9	9	73.909	143.198
LEC1 / LANE-D: LAD	38	38	77.459	174.885
LAD / LANE-FwD: LEC2	220	220	1402.766	4369.724
LAD / LANE-FwD: LEC1	260	260	869.400	2219.182

Na Figura 6.4 é apresentado o gráfico referente ao comportamento do *delay* do protocolo de resolução de endereço (ARP) até o LES. Podemos observar que o delay tende a se estabilizar ao longo do tempo da simulação.

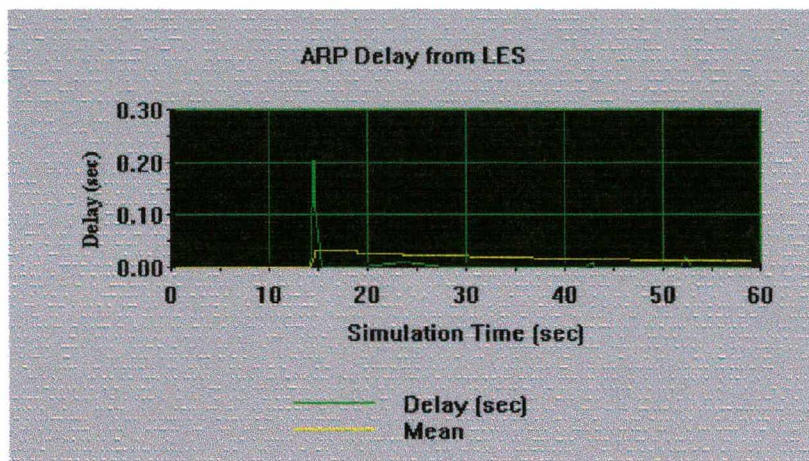


Figura 6.4 – Gráfico do delay do ARP até o LES

6.7 Análise do Comportamento de Serviços ABR e CBR em um Ambiente ATM

Este modelo apresenta a avaliação de diferentes parâmetros de QoS para o tráfego ATM. O modelo consiste de 2 switches conectados a uma rede ATM (conforme Figura 6.6), estes têm a capacidade indeterminada. Eles são rápidos e não apresentam gargalos. Os switches são conectados por um link ponto-a-ponto de 128 Kbps de largura de banda.

O tráfego consiste de 2 tipos: transferência de uma imagem de 1 MB de um switch ATMSw2 para outro switch ATMSw1. O segundo tipo de tráfego é um pedido e resposta a uma base de dados. O ATMSw1 solicita ao ATMSw2, usando uma mensagem de 1000 Bytes (a resposta também é de 1000 Bytes). A transferência da imagem ocorre durante a simulação. A transferência da base de dados ocorre durante o tempo de 1.5 segundos. O tráfego da base de dados usa um serviço ABR na rede ATM, com um PCR de 128 Kbps e um MCR de 8 Kbps. Para a transferência da imagem é usado um serviço CBR com um PCR de 120Kbps.

O modelo é bem simplificado, onde LANs podem estar junto a cada switch ATM. Este detalhe é compensado pelo pequeno intervalo de tempo entre as chegadas do tráfego da base de dados (na realidade, não levaria 1.5 segundos para fazer um pedido à base de dados de uma estação de trabalho). Também, a simulação é para determinar o

comportamento da rede quanto a QoS para transferência de uma imagem em paralelo ao tráfego de uma base de dados. O delay é uma métrica (parâmetro) de interesse neste modelo, assumindo que ambos tipos de tráfegos são multiplexados sobre um PVC ATM.

Como a fonte do tráfego está relacionada às classes de serviço ATM, a fonte contém requerimentos de níveis de serviços, neste caso é de 10 pacotes para a transferência de imagem. A Figura 6.5 mostra os níveis de serviços que foram definidos.

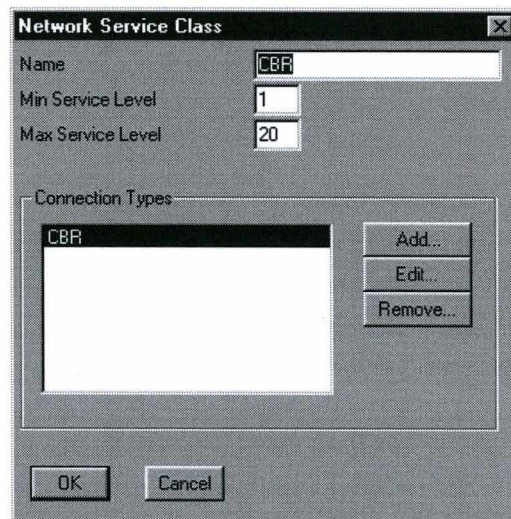


Figura 6.5 – Acordo de níveis de serviço para a classe CBR

Entre o switch ATMSw2 e a rede, existe a classe de serviço CBR definida. Foi especificado para ela um nível de serviço máximo e mínimo, que neste caso foi setado 1 e 20 pacotes, respectivamente. Na incidência de 10 pacotes, dentro do limite, todos os pacotes criados para a fonte da transferência de imagem estão associados com a classe de serviço CBR. A Figura 6.6 apresenta a estrutura de todo o modelo. Para detalhes da construção do modelo ver **Apêndice 2**.

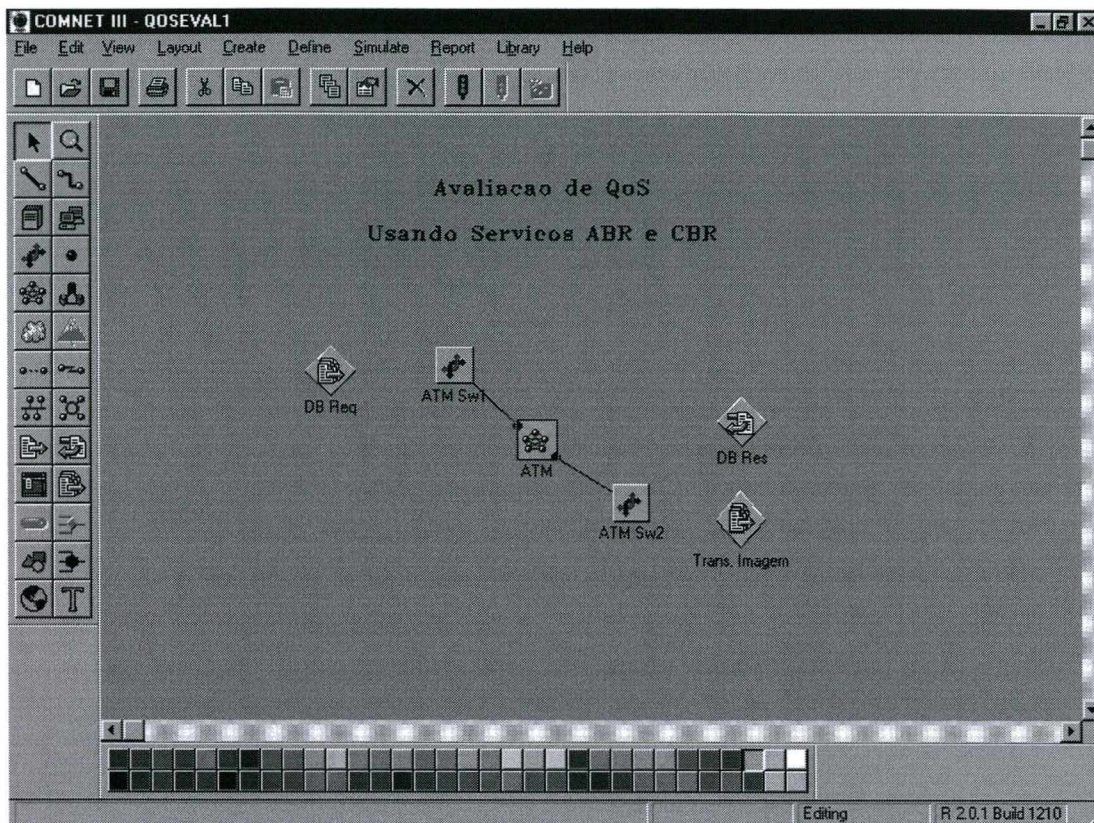


Figura 6.6 – Modelo para avaliação de QoS usando serviços ABR e CBR em uma rede ATM

Este modelo foi simulado pelo tempo de 300 segundos. Para fim de análise dos resultados foram considerados os resultados coletados a partir do tempo 20 da simulação.

Na Tabela 6.4 é apresentada a utilização dos links deste ambiente. Na primeira linha, partindo do link ATM até o dispositivo de rede ATM Sw1 o número de frames entregues foi de 4856, o delay médio de transmissão foi de 3.312 milésimos de segundos e a utilização deste link foi de 5.814%. Vale salientar que as aplicações deste ambiente não exigem muito da rede (pequeno tráfego), daí o porque de estarem sendo subutilizadas.

Tabela 6.4 - Utilização dos Links (canais)

Link	Frames Entregues	Delay de Transmissão (ms)		Utilização (%)
		Média	Máximo	
Link ATM.ATM até ATM Sw1@ATM	4856	3.312	3.313	5.8142
Link ATM.ATM até ATM Sw2@ATM	26139	3.313	3.313	31.30

Na Tabela 6.5 apresenta-se o *delay* das mensagens do modelo para o tráfego dos dois tipos de serviços (requisição de um BD e da transferência de uma imagem). Observa-se que o tempo médio do *delay* de transmissão de uma requisição de BD do dispositivo Sw1 ATM até o dispositivo Sw2 ATM é de 2877.879 milésimos de segundos. Para o tipo de serviço que está sendo fornecido, e mesmo para outros serviços que exigem um *delay* pequeno, pode-se dizer que as redes ATM fornecem de forma satisfatória este tempo mínimo de *delay* (sem atraso).

Tabela 6.5 - Delay das Mensagens

Origem : Destino	Delay dos Pacotes (ms)	
	Média	Máximo
ATM Sw1/DB Req : ATM Sw2	2877.879 MS	14860.130 MS
ATM Sw2/Imag Trans.: ATM Sw1	74490.462 MS	74490.462 MS

Algumas aplicações como as de áudio, por exemplo, têm exigências rígidas quanto ao atraso fim-a-fim e podem tolerar perdas mínimas de pacotes, enquanto outras como transferência de arquivos são sensíveis quanto a este último aspecto, mas as exigências quanto ao atraso são pouco severas. Como para garantir QoS, a disponibilidade de largura de banda é o ponto fundamental, e o ATM contempla este benefício, portanto, para as aplicações que rodam no ATM é fornecida QoS fim-a-fim (existem outros mecanismos que auxiliam no fornecimento de QoS fim-a-fim no ATM, como o controle de tráfego). Na Figura 6.7 é apresentado o comportamento do número de mensagens de requisição de BD em trânsito até o dispositivo Sw1ATM, durante o tempo de simulação de 300 segundos.

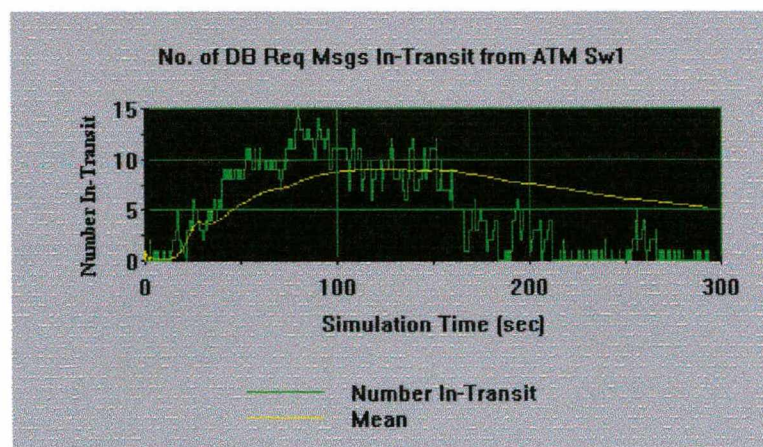


Figura 6.7 – Número de Mensagens de Requisição de um BD em Trânsito até o Sw1ATM

6.8 Modelagem e Análise de Tráfego de uma Rede TCP/IP sobre ATM

A seguir é apresentado um modelo considerando uma estrutura de rede TCP/IP e ATM. A descrição do modelo está bem simplificada.

Este modelo demonstra o tráfego TCP/IP sobre uma rede ATM. A topologia consiste de um *backbone* de rede ATM, que fornece duas classes de serviços: ABR e CBR, usadas para a transmissão de voz e transferência de arquivos, respectivamente.

Em qualquer uma das extremidades da rede tem uma LAN com um servidor e uma estação de trabalho. Para ambas, *Token Ring* e a *LAN Ethernet*, foram atribuídas as taxas de transmissão de 16 Mbps e 10 Mbps, respectivamente. A largura de banda foi ajustada para refletir a largura de banda disponível, assumindo que para cada LAN é de 4 Mbps. Isto é para compensar o fato de que o tráfego da LAN local está incluído no modelo. Há 2 tipos de tráfego no modelo: transferência de arquivo e de voz.

A transferência de arquivos ocorre entre o servidor de cada LAN para a estação remota. O tamanho do arquivo é de 1 Mb e é transmitido usando TCP/IP nas bordas da rede. Os pacotes são segmentados em células ATM usando a categoria de serviço CBR (associação feita através dos parâmetros “*Net Srv Level*” na fonte geradora e “*Min Srv Level*”/ “*Max Srv Level*” na rede). Após sair da rede ATM, os pacotes são remontados e transmitidos para LAN destino.

O tráfego de voz é enviado de uma estação origem para uma estação remota. Ela ocorre de acordo com uma distribuição exponencial de 10 segundos. Este intervalo do tempo entre as chegadas é compensado pela simplificação feita sobre o número de estações da LAN. Por isso a fonte representa o tráfego de voz de todas as estações da LAN. Na transferência de arquivo, pacotes de 10 Kb são enviados usando TCP/IP para a rede ATM, onde eles são mapeados para a classe de serviço ABR. A Figura 6.8 apresenta o modelo desenvolvido. Para detalhes da construção do modelo ver **Apêndice 3**.

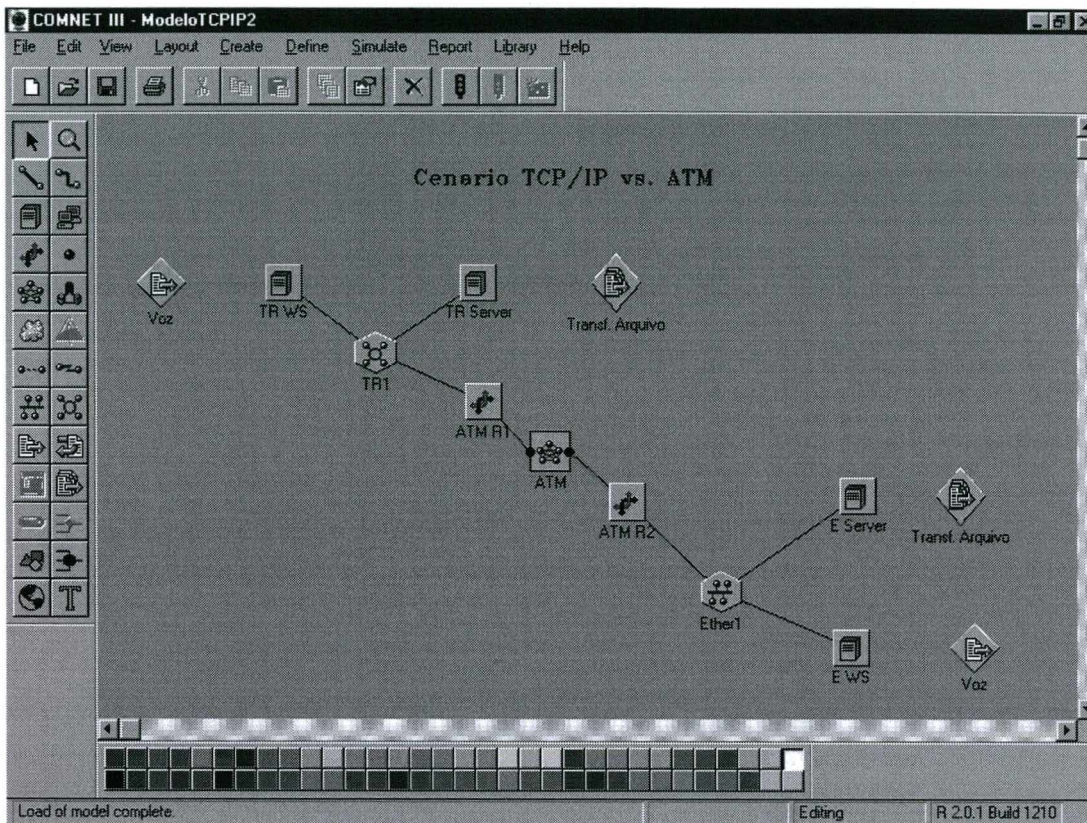


Figura 6.8 – Modelo TCP/IP sobre ATM

A seguir são apresentados alguns dos resultados gerados pelo modelo. Vale salientar que o tempo de simulação utilizado no modelo foi de 500 segundos. A Tabela 6.6 mostra os contadores com o número de mensagens recebidas.

Tabela 6.6 – Contadores do número de mensagens recebidas

RECEIVER	COUNT	MESSAGE NAME
ATM R1@ATM	2163	CBR AAL1
ATM R2@ATM	2163	CBR AAL1
TR WS	57	Voz
TR WS	1	Transf. Arquivo
E WS	56	Voz
E WS	1	Transf. Arquivo

A Tabela 6.7 mostra a média de utilização dos canais de transmissão:

Tabela 6.7 – Dados referentes a utilização dos canais

LINK	FRAMES DELIVERED	TRANSMISSION DELAY (MS)			% UTIL
		AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	
TR1	4326	1.577	1.450	3.050	1.3644
Ether1	6372	1.132	1.370	6.802	1.4305
ATM.Pr-R2					
FROM ATM R1@ATM	35324	6.625	0.000	6.625	46.80
FROM ATM R2@ATM	35537	6.625	0.000	6.625	47.09

De acordo com os dados gerados pelo modelo, o *delay* de transmissão da rede *Ethernet* é menor do que o da *Token Ring*.

Tabela 6.8 – Dados referentes ao *delay* de mensagem da sessão origem

ORIGIN / SESSION SRC: DESTINATION LIST	MESSAGE DELAY		
	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
E Server / src File Transfer: TR WS	211.82784 S	0.000 MS	211.82784 S
TR Server / src File Transfer: E WS	211.64929 S	0.000 MS	211.64929 S

Pode-se observar que (Tabela 6.8) o *delay* de mensagem do Servidor *Ethernet* (origem) para a estação de trabalho *Token Ring* (destino) teve uma média de tempo maior do que o *delay* do Servidor *Token Ring* (origem) para a estação de trabalho *Ethernet* (destino), considerando o serviço de transferência de arquivos. Também observou-se que o *delay* para o serviço de transferência de arquivos foi consideravelmente maior que o *delay* para a transmissão de voz.

A seguir são mostrados gráficos referentes ao comportamento do *delay* do serviço de *mail* por voz na rede *Ethernet* (Figura 6.9) e *Token Ring* (Figura 6.10), respectivamente.

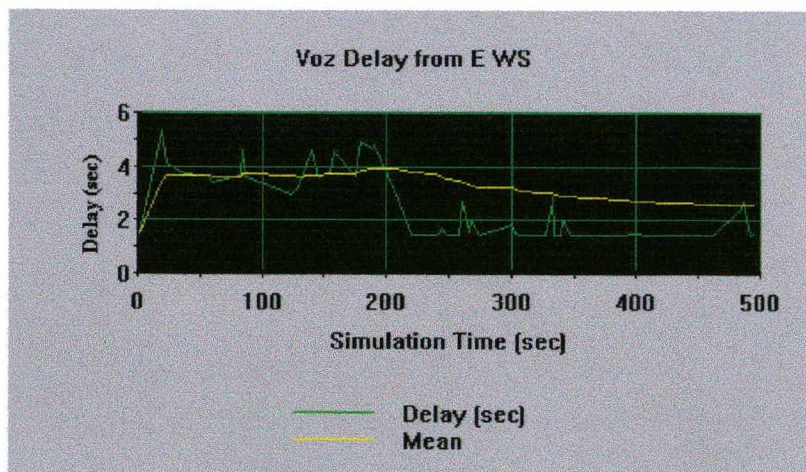


Figura 6.9 – Comportamento do *delay* do serviço de voz na rede *Ethernet*

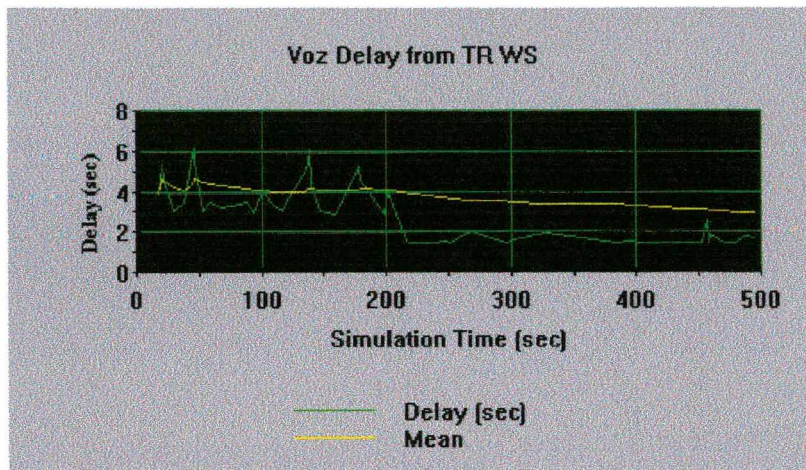


Figura 6.10 – Comportamento do delay do serviço de voz na rede Token Ring

Pode-se também observar que na transferência de arquivo ocorreu uma demora considerável de tempo para a transmissão, isto não é aceitável, pois a transferência de arquivos é considerada um *delay* sensível. Enquanto que para voz esta demora é tolerável. Além do tipo de tráfego que influencia no *delay*, observou-se que a variação do tamanho do pacote afeta diretamente o *delay*.

7 Conclusões

7.1 Conclusões

O trabalho abordou, como tema principal, a integração do protocolo TCP/IP sobre a rede ATM considerando alguns parâmetros de QoS (*delay* e *throughput*), para isso foram analisados os mecanismos que permitem esta integração, as formas de endereçamento, o desempenho e os principais problemas de integração quanto ao uso desta tecnologia.

Atualmente, as aplicações estão, cada vez mais, exigindo serviços com qualidade fim-a-fim. A QoS é um requisito fundamental para diversas aplicações e envolve atividades como especificação, mapeamento, negociação e gerenciamento de recursos.

As redes ATM fornecem gerenciamento, flexibilidade e garantias de QoS permitindo assim suportar aplicações com diferentes características de tráfego e requisitos de comunicação como: largura de banda, restrição de *delay* e sensibilidade a erros.

O problema de QoS em redes TCP/IP sobre ATM, está na implementação de aplicações sobre a AAL (camada de adaptação do ATM), camada que fornece um complemento de funções específicas aos serviços que não podem ser fornecidos pelo nível ATM. A utilização do IP sobre o ATM busca usufruir da velocidade do ATM para as várias aplicações do IP, para isso existem os protocolos (LANE, IPOA, MPOA) que permitem esta integração. Entretanto, com esta integração é degradada,

consideravelmente, a “eficiência de transmissão” fornecida pelo ATM. Assim sendo, a QoS fornecida pelo ATM, quando se utiliza TCP/IP com o protocolo LANE ou o IPOA, é perdida. O LANE na versão 2, apresenta mecanismos que permitem melhorar a QoS em ambientes (TCP/IP), assim também como o MPOA.

Este trabalho, apresentou as tecnologias que visam integrar as redes TCP/IP sobre o ATM, seguido de verificações e parâmetros que devem ser considerados para integrar estas duas tecnologias, tais como: protocolos, sinalização, controle de tráfego, níveis de serviços e gerência. Além disso, foram apresentados os principais problemas que aparecem em uma aplicação quando é feita uma tentativa de usar QoS em diferentes cenários de redes heterogêneas, bem como os principais problemas de desempenho do ambiente TCP/IP sobre ATM.

Para melhor observar o comportamento de um ambiente de rede TCP/IP sobre ATM, quanto aos aspectos relacionados a QoS (*delay e throughput*) e desempenho, foi usada uma ferramenta de simulação de rede (COMNET III) para modelar ambientes de rede para auxiliar na análise. A seguir apresentam-se algumas considerações sobre cada um dos modelos desenvolvidos:

1. Análise de desempenho de um LANE (Modelo 1)- o modelo mostrou o funcionamento de uma rede TCP/IP sobre ATM, bem como todo o comportamento dos componentes do protocolo de integração TCP/IP sobre ATM, o LANE. Neste caso, observou-se que a funcionalidade do protocolo LANE degrada de forma significativa o desempenho da rede, devido aos componentes de sinalização que compõe o LANE;
2. Análise de parâmetros de QoS em um ambiente ATM (Modelo 2)- o modelo demonstrou a avaliação de parâmetros de QoS para o tráfego dos serviços CBR e ABR em uma rede ATM. Verificou-se que a taxa de utilização dos links e o delay das mensagens foram pequenos, isso deve-se ao fato de que as aplicações que foram usadas na simulação não exigem muito da rede ATM (ambiente subutilizado).
3. Análise do tráfego de uma rede TCP/IP sobre ATM (Modelo 3)- observou-se neste modelo que o *delay* do servidor da rede *Ethernet* para a estação de trabalho de uma rede *Token Ring* (destino) teve uma média de tempo maior do que o

delay do Servidor *Token Ring* (origem) para a estação de trabalho *Ethernet* (destino), considerando o serviço de transferência de arquivos. Pode-se também observar que na transferência de arquivo ocorreu uma demora considerável de tempo para transmissão, isto não é aceitável, pois para transferência de arquivos é considerado um *delay* sensível. Enquanto que para voz esta demora é tolerável. Também pode-se observar que o *delay* para o serviço de transferência de arquivos foi, consideravelmente, maior que o *delay* para a transmissão de voz.

A vantagem do LANE é que ele suporta vários tipos de protocolos. É um protocolo compatível que permite integrar as funcionalidades do TCP/IP com o ATM, por exemplo. A limitação do LANE, é a dificuldade do acesso à sinalização do ATM e o fato dele não fornecer garantia de QoS para as camadas superiores. O LANE na sua versão 2.0 já incorpora funcionalidades que provêm QoS para as aplicações.

Quanto ao desempenho do TCP/IP sobre o ATM, vários estudos estão sendo feitos para maximizar os benefícios dos investimentos de redes ATM para transmissão de tráfego Internet. A seguir apresenta-se a caracterização de alguns dos problemas e possíveis soluções para usufruir do desempenho do TCP/IP sobre o ATM.

Um dos problemas é o excesso de *overhead* do ATM, originado do grande número de células, o que reduz a largura de banda ou a eficiência de transmissão do meio físico. Uma solução para isso, seria usar um mecanismo que permitisse a compressão dos cabeçalhos de endereçamento do TCP/IP e do ATM, permitindo uma maior eficiência do TCP/IP sobre o ATM. Outro problema é a perda de células do ATM devido ao *overflow* dos *buffers* dos *switches*, também influencia no desempenho, tanto do ATM, como do TCP. Há várias maneiras para controlar a perda de células, incluindo a implementação de buffers com uma capacidade maior nos *switches* ATM, configuração de mecanismos inteligentes de descarte de células nos *switches*, e o estabelecimento de um mecanismo de controle de taxa de transmissão, baseado no *feedback* do congestionamento, para ajustar a transmissão da fonte, de acordo com o estado da rede.

Como o ATM é orientado à conexão, o desempenho da interação de comunicação para o estabelecimento da conexão (*delay* de configuração da conexão)

pode ser significativamente degradada se uma conexão ATM necessitar ser configurada para uma mensagem muito pequena. As conexões ATM precisam ser gerenciadas no estabelecimento e na liberação das conexões das interfaces de rede IP/ATM.

Finalmente, conclui-se que não adianta aumentar a largura de banda de uma rede como forma de garantir QoS para as aplicações. É necessário gerenciar a largura de banda e priorizar o tráfego para poder fornecer QoS, evitando alocar desnecessariamente a largura de banda que encarece o custo de manutenção da rede.

7.2 Trabalhos Futuros

A seguir apresenta-se algumas sugestões de continuidade para o trabalho desenvolvido:

- Desenvolver um modelo mais detalhado de redes TCP/IP sobre ATM, considerando aplicações que necessitam de um alto throughput e um baixo delay de transmissão (videoconferência);
- Simular ambientes TCP/IP utilizando o MPOA como protocolo de integração TCP/IP sobre ATM;
- Fazer a modelagem analítica para comparar com os dados reportados pelo modelo de simulação;
- Para fazer uma análise mais completa poderiam ser coletados dados de um ambiente real e aplicados aos modelos de simulação;
- Estudar mecanismos que permita à compressão dos cabeçalhos de endereçamento do TCP/IP e do ATM, permitindo uma maior eficiência do TCP/IP sobre o ATM;
- Estudar mecanismos inteligentes de descarte de células nos *switches*;
- Desenvolver um mecanismo para melhorar o gerenciamento do estabelecimento e liberação de conexões IP/ATM.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[ABELÉM 01] ABELÉM, A. J., et al. *QoS Fim a Fim através da Combinação entre Serviços Integrados e Diferenciados*. PUC-RJ - Anais do 19º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 258 – 273. Florianópolis, maio de 2001.

[ACTS 98] ACTS NIG-G3; *Internet and ATM Coexistence Guideline*. ACTS NIG-G3 Chain Group Global Network Interoperability, <<http://gina.iihe.ac.be/nig-g3>>, 1998.

[ALEIXO 98] ALEIXO, A. F. *RSVP – Uma implementação de Qualidade de Serviço sobre a tecnologia da Internet – 1998*, Universidade Federal de Paraíba.

[ALMESBERGER 98] ALMESBERGER, W. et al. *SRP: A Scalable Reservation Protocol for the Internet*. Technical Report, EPFL, Lausanne, Switzerland, March 1998

[ANKER 97] ANKER, T.; et al. “*IMSS: IP Multicast Shortcut Service*”, Internet Draft, draft-anker-congress-00.txt, Julho 1997.

[APOSTOLOPOULOS 99] APOSTOLOPOULOS, G. et al. “*QoS Routing Mechanisms and OSPF Extensions*”. RFC2676. Agosto, 1999.

[ARMITAGE 96] ARMITAGE, G. *Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks*, RFC 2022, Novembro 1996.

[ATM 95] ATM Forum, *LAN Emulation over ATM -Version 1.0*. ATM Forum, AF-LANE 0021.000, January 1995.

[ATM 96a] ATM Forum, *ATM User-Network Interface (UNI) Signalling Specification - Version 4.0*. ATM Forum, AF-SIG 0061.000, July 1996.

[ATM 96b] ATM Forum, *MPOA Baseline Version 1*, ATM Forum, 1996.

[ATM 97] ATM Forum, *LAN Emulation Over ATM Version 2 – LUNI Specification*, Julho 1997.

[ATM 99] ATM Forum, *Multi-Protocol Over ATM Specification – Version 1.1*, af-mpoa-0114.000, May 1999, <<http://www.atmforum.com>>, consultado em 15 de novembro de 2000.

[AWDUCHE 98] AWDUCHE, D. et al. “*Requeriments for Traffic Engineering over MPLS*”. Internet draft, draft-ietf-mppls-traffic-eng.00.txt. Outubro, 1998.

[AWDUCHE 98b] AWDUCHE, D. et al. “*Extensioento RSVP for Traffic Engineering*”. Internet draft, draft-swallow-mppls-RSVP-trafeng.00.txt. Agosto, 1998.

[BERGER 98] BERGER, L. *RSVP over ATM Implementation Requirements*. IETF RFC 2380, Agosto1998.

[BERNET 00] BERNET, Y; et al. *A Framework for Integrated Services Operation Over Differentiated Networks*. IETF, RFC2998, Novembro 2000.

[BRADEN 94] BRADEN, R.; Clark D.; Shenker S.. *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*. IETF Request for Comments, RFC 1633, June 1994.

[BRADEN 97] BRADEN, R.; et al. *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -Version 1 Functional Specification*. IETF RFC 2205, September 1997.

[CALLON 97] CALLON R.; et al. *A Framework for Multiprotocol Label Switching*. IETF, <draft-ietf-mppls-framework-02. txt>, November 1997

[COLE 96] COLE, R., Shur D.; Villamizar C. *IP over ATM: A Framework Document*. IETF Request for Comments, RFC 1932, April 1996.

[COMNET 98] CACI, Products Company; *COMNET III – Reference Guide*, Release 2.0, 1998.

[CRAWLEY 98] CRAWLEY, E.; et al. “*A Framework for QoS-based Routing in the Internet*”. RFC2386. Agosto, 1998.

[DOURADO 00] DOURADO, Rogerio S. Jr.; et al. *Um Estudo sobre MPOA (Multi-Protocol Over ATM)*. Projeto Redes Metropolitanas de Alta Velocidade – Universidade Federal da Bahia. Anais do II Workshop RNP2 do 18º SBRC 2000; pg.161-172.

[FERGUSON 98] FERGUSON, P.; Huston G. *Quality of Service: delivering QoS on the Internet and in Corporate Networks*. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1998.

[FERNANDEZ 01] FERNANDEZ, M.P., et al; *Qualidade de Serviço em um Domínio DiffServ através de Gerenciamento baseado em Políticas*. UFRJ - Anais do 19º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 590 – 605. Florianópolis, maio de 2001.

[GARRETT 98] GARRETT, W. M.; Borden M.; *Interoperation of Controlled-Load Service and Guaranteed Service with ATM*. IETF - Integrated Services Working Group, <draft-ietf-issll-atm-mapping-05.txt>, March 1998.

[HASSAN 00] HASSAN, M.; Mohammed A.; *Performance of TCP/IP over ATM Networks*. Artech House Telecommunication Library. 2000.

[ISO 88] ISO; *Information Processing System -Open System Interconnection Protocol for Providing Connectionless Mode Network Service*. International Standard Organisation, Standard ISO 8473, 1988.

[JAIN 91] JAIN, R.; *The Art of Computer Systems Performance Analysis – Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*. John Wiley&Sons, 1991.

[KAMIENSKI 01] KAMIENSKI C.; Djamel S.; *Chameleon: uma Arquitetura para Serviços Avançados Fim a Fim na Internet com QoS*. UFPE - Anais do 19º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 606 – 621. Florianópolis, maio de 2001.

[LAUBACH 98] LAUBACH, M.; *Classical IP and ARP over ATM*. IETF Request for Comments, RFC 2225, Abril de 1998.

[LUCIANI 98] LUCIANI, J.; et al; *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*, RFC 2332, Abril 1998.

[LUNARDI 01] LUNARDI, S.C.; Fernando L. D.; *Uma Camada de Adaptação à Qualidade de Serviço na Internet para Aplicações Multimídia*. PUC-RS - Anais do 19º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 17 – 32. Florianópolis, maio de 2001.

[MARTINS 99] MARTINS, J.; *Qualidade de Serviço em Redes IP – Princípios básicos, Parâmetros e Mecanismos*. ITTELCON - JSMNet Networking Reviews – Vol. 1 – Nº 1, Setembro de 1999.

[MORAES 01] MORAES, A.M.; Farines, J.-M.; *Transmissão de Vídeo sobre ABR/ATM para Aplicações de Videoconferência, em Canais de Baixa Taxa de Bits*. UFSC - Anais do 19º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 402 – 417. Florianópolis, maio de 2001.

[MOTA 01] MOTA, O.T.J.D., et al; *Uma Arquitetura Adaptável para Provisão de QoS na Internet*. PUC-RJ - Anais do 19º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 622 – 637. Florianópolis, maio de 2001.

[NEWMAN 98] NEWMAN, P.; et al; *Ipsilon General Switch Management Protocol Specification – version 2.0*, IETF RFC 2397, março 1998.

[OLIVEIRA 00] OLIVEIRA, S. S.; Westphall, C.; *Qualidade de Serviço em Redes IP sobre ATM* – Anais do VI Congreso Internacional de Ingeniería Informática - ICIE Y2K Departamento de Computación, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires/Argentina, Abril/2000.

[PAGANI 00] PAGANI, C. E.; Magalhaes, M. F.; *Agregação de Tráfego em um Comutador Adaptativo com Serviços Integrados IP sobre ATM*. UNICAMP - Anais do 18º Simpósio de Redes de Computadores (SBRC), pg. 537 – 552. Belo horizonte, maio de 2000.

[PEREIRA 00] PEREIRA, L.S.; *Qualidade de Serviço em Aplicações Multimídia sobre Redes IP/ATM*. Dissertação de Mestrado do CPGCC da UFSC, janeiro 2000.

[REKHTER 97] REKHTER, B.; et al; *Cisco Systems Tag Switching Architecture Overview*. IETF RFC 2105, february 97.

[ROCHOL 98] ROCHOL, J.; *Redes de Computadores*, 3ª parte (apostila) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Setembro de 1998.

[RODRIGUES 99] RODRIGUES, C. A.; *Distribuição de Dados IP sobre ATM com Reserva de Qualidade de Serviço*, Dissertação de Mestrado - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.

[ROESLER 98] ROESLER, V.; *Curso Básico de ATM*. PRAV – Pesquisa em Redes de Alta Velocidade; Unisinos, 1998.

[ROSEN 99] ROSEN, E.; Viswanathan, A.; Callon, R.; *Multiprotocol Label Switching Architecture*, IETF Draft MPLS WG, Work in progress, Agosto 1999.

[SCHULZRINNE 96] SCHULZRINNE, H.; et al; *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. IETF Request for Comments, RFC 1889, January 1996.

[SHENKER 97a] SHENKER, S. & Wroclawski, J.; “*General Characterization Parameters for Integrated Service Network Elements*”, RFC 2215, Setembro 1997.

[SHENKER 97b] SHENKER, S.; Patridge, C.; Guerin, R.; *Specification of Guaranteed quality of Service*, RFC 2212, Setembro 1997.

[SMIRNOV 97] SMIRNOV, M.; *EARTH – Easy IP Multicast Routing Through ATM Clouds*, Internet Draft, draft-smirnov-ion-earth-02.txt, Março 1997.

[TANENBAUM 96] TANENBAUM, A. S.; *Computer Networks*, 3rd Edition. Upper Saddle River, New Jersey, USA – 1996.

[WEB 99a] WEB Proforums; *Internet Protocol (IP) Internetworking Transport Tutorial*, 1999 - <http://www.webproforum.com/ip_int/topic06.html>, obtido em 14 de abril/2000.

[WEB 99b] WEB Proforums; *Service Level Management*, 1999 <http://www.webproforum.com/service_level/topic03.html>, obtido em 14 de abril/2000.

[WERNER 97] WERNER, A.; *et al*; *A Framework for the QoS Based Integration of IP and ATM in the DIANA Project*, 1997.

[WROCLAWSKI 97] WROCLAWSKI, J.; *Specification of the Controlled-Load Network Element Service*, RFC 2211, Setembro 1997.

[XEDIA 98] XEDIA Corporation; *Achieving IP Quality of Service in ATM Networks*, 1998 <http://www.xedia.com/products/atm_whitepaper.htm#> obtido em 20 de fevereiro 2000.

APÊNDICE 1 - MODELAGEM E ANÁLISE DA PERFORMANCE DO PROTOCOLO LANE EM UM AMBIENTE TCP/IP SOBRE ATM

O modelo visa apresentar o funcionamento de um ambiente LANE (*LAN Emulation*). Ele mostra o comportamento das relações geradas pelo tráfego do protocolo LANE durante a comunicação.

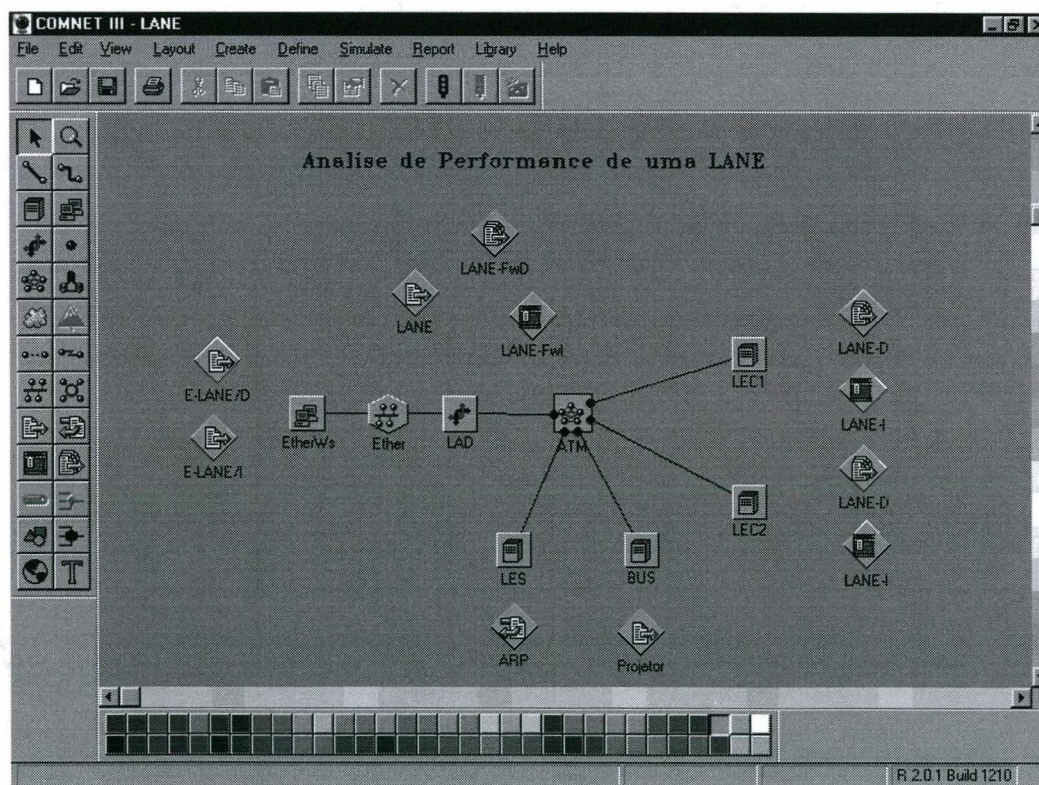


Figura 1 – Modelo do Protocolo LANE

A Figura 1 mostra a estrutura de um ambiente LANE. O modelo representa somente as estações que fazem parte de uma LANE. Estes são conectados diretamente na rede ATM, como no caso dos LECs. Alternativamente, podem ser conectados à rede ATM via um LAD (*LAN Access Device*). O modelo mostra os módulos LES (*LAN Emulation Server*) e o BUS (*Broadcast and Unknown Server*), os quais são implementados em estações separadas, neste modelo (isto é apenas para propósito de ilustração neste modelo).

Podemos visualizar na figura acima como funciona a interação entre os componentes de um ambiente *LAN Emulation* (LANE). A descrição do que representa cada módulo utilizado no processo de construção do modelo de simulação, assim como a funcionalidade deste ambiente, será apresentada a seguir.

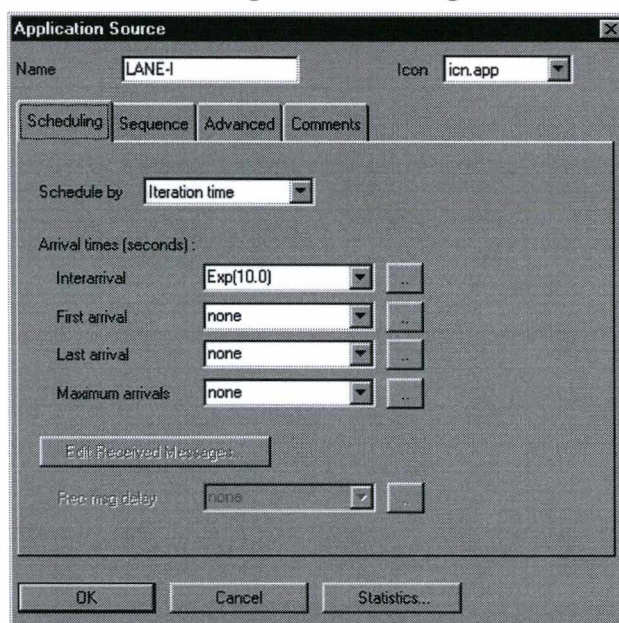


Figura 2 – Definição dos parâmetros do módulo LANE-I

Na Figura 2, utilizou-se o módulo *Application Source* para representar a estação LANE-I, situação em que o LEC não tem o endereço de destino ATM (descrito anteriormente no Tópico 6.6). O tempo de espera para o estabelecimento da conexão varia de acordo com a distribuição *Exp(10.0)*. Existe outro módulo *Application Source* com os mesmos parâmetros que representa uma estação LANE-D, em que o LEC já conhece o endereço destino. Isso se aplica a todos os módulos com final “I e D” (LANE-I e LANE-D). Na Figura 3, os módulos *Link Properties* e *Node Properties* representam todos os parâmetros relacionados a um ambiente de rede Ethernet.

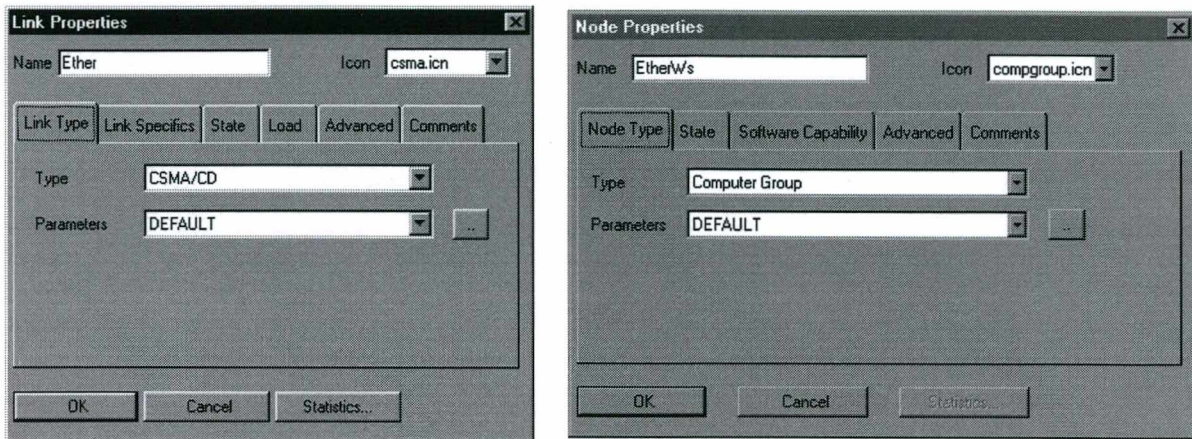


Figura 3 - Modelagem do Ambiente Ethernet

Utilizou-se um outro módulo *Node Properties* para interconectar as estações de trabalho da rede Ethernet com a rede ATM.

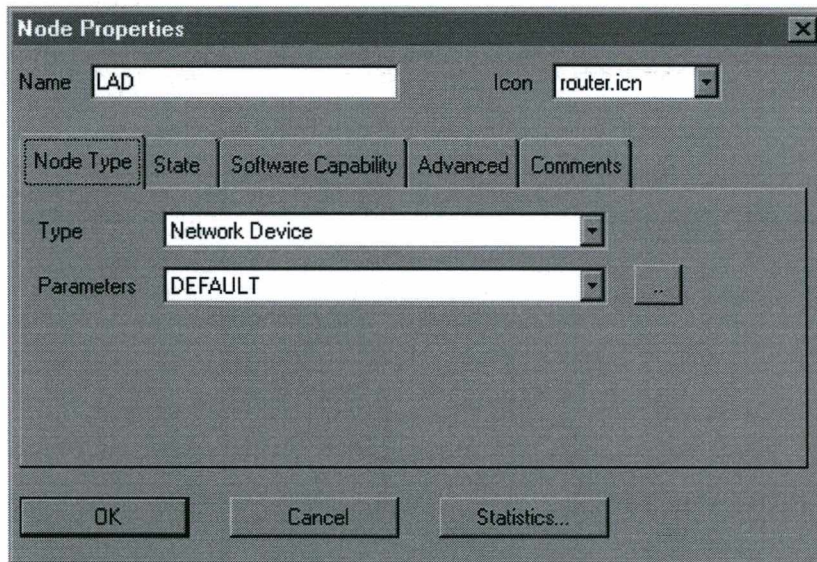


Figura 4 – Módulo que conecta a Rede Ethernet à Rede ATM

A seguir, na Figura 5, esta o módulo *Node Properties* que representa as características do *Switch ATM* com parâmetros relacionados à configuração do mesmo.

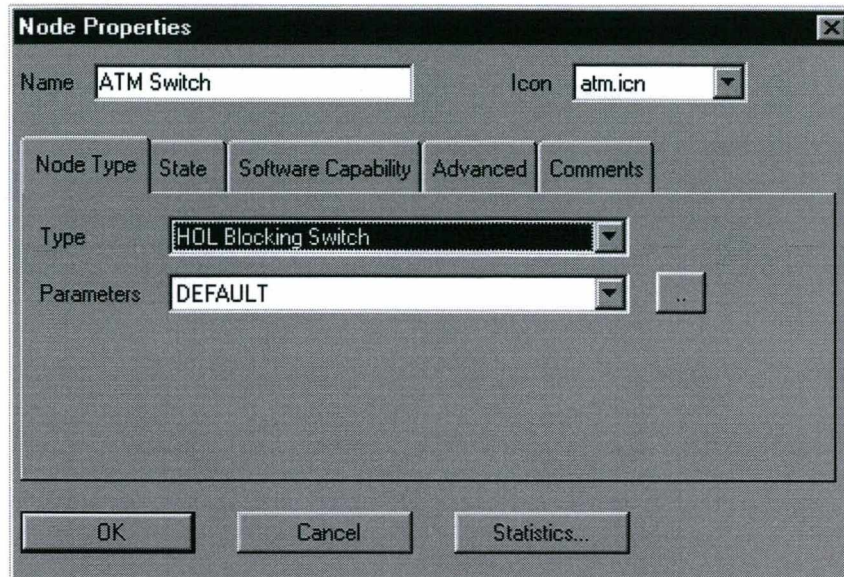


Figura 5 – Módulo que representa um Switch ATM

Para estabelecer a comunicação em um ambiente LANE são necessários mecanismos para comunicação entre as redes de tecnologias diferentes. Estes mecanismos são: LEC (*LAN Emulation Client*), que são os clientes (estações); o LES (*LAN Emulation Server*), servidor de resolução de endereços para LANE; o LECS (*LAN Emulation Configuration Server*), que mantém um banco de dados com informações das LANEs emuladas e o BUS (*Broadcast and Unknown Server*) que é o servidor multicast para LANE. Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os módulos que representam estes mecanismos.

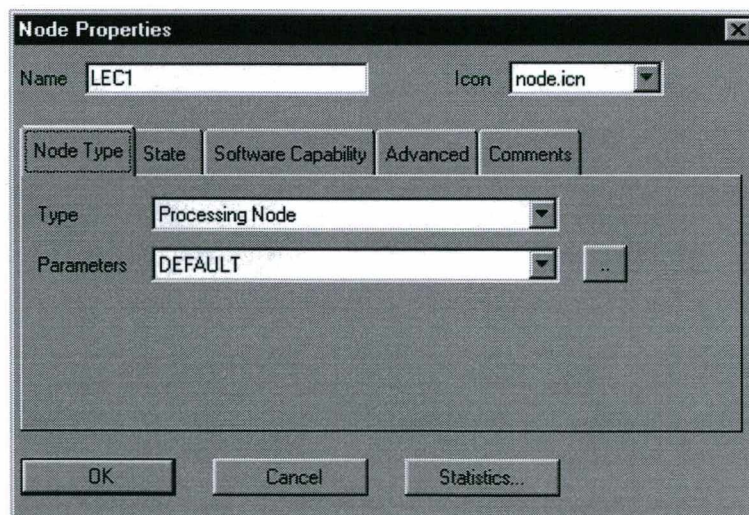


Figura 6 – Módulo que representa o LEC

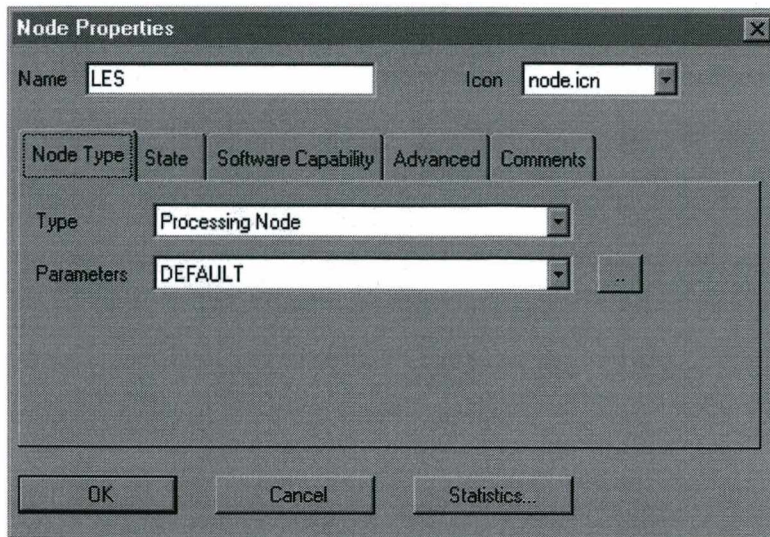


Figura 7 – Módulo que representa o LES

A Figura 8 representa o BUS, responsável pelo endereçamento multicast, e o ARP, protocolo de resolução de endereços que trabalha junto ao LES e ao BUS. No modelo o ARP representa o LECS.

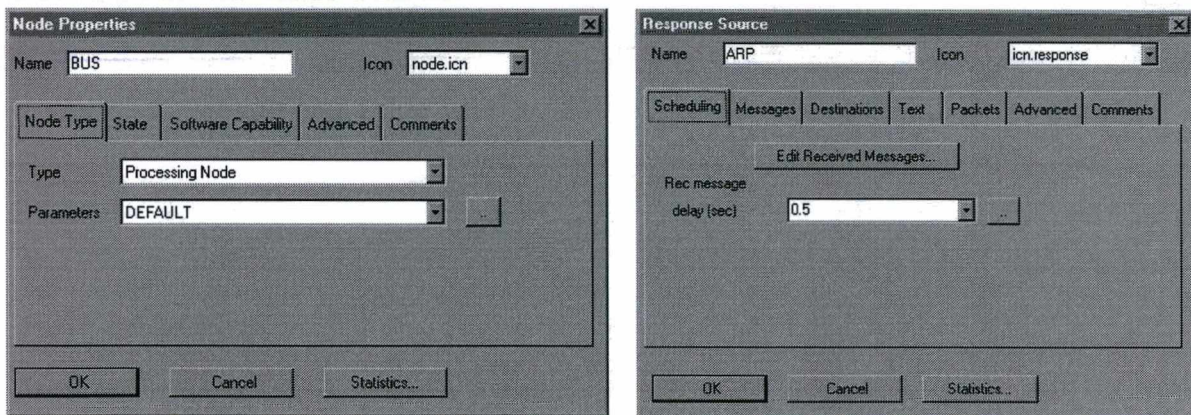


Figura 8 – Módulos que representam o BUS e o ARP

APÊNDICE 2 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SERVIÇOS ABR E CBR EM UM AMBIENTE ATM

Este modelo apresenta a avaliação de diferentes parâmetros de QoS para o tráfego ATM. O modelo consiste de 2 switches conectados a uma rede ATM, estes têm capacidade indeterminada.

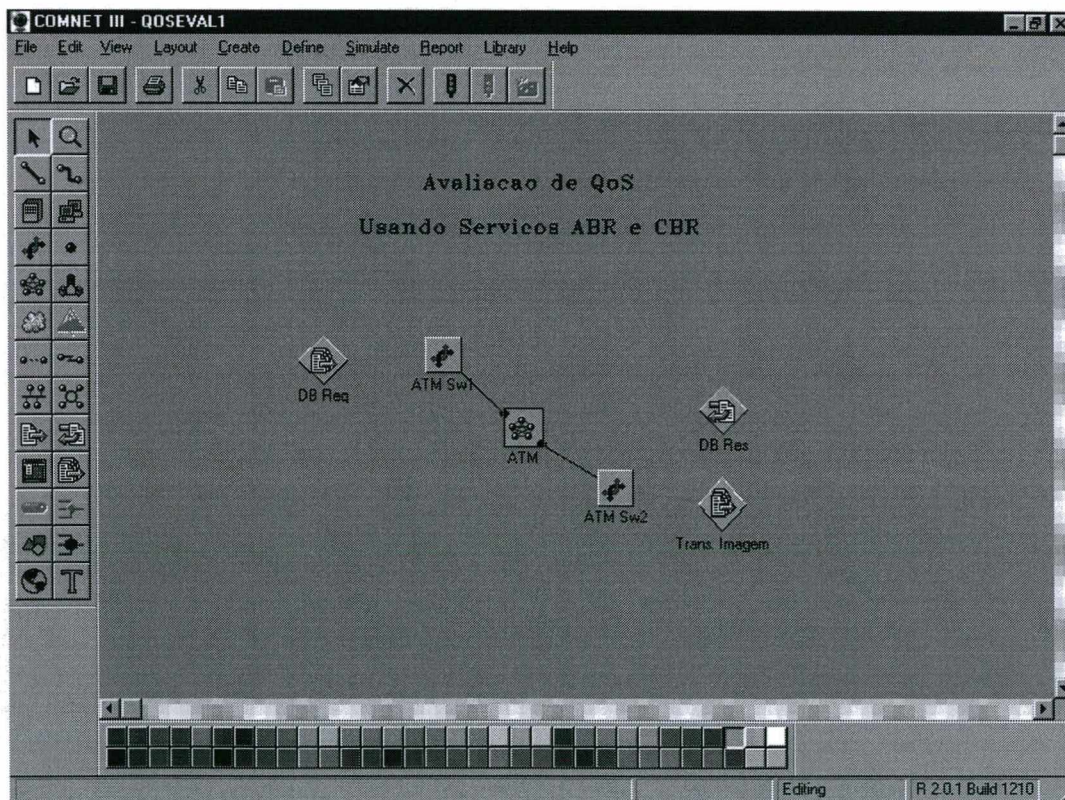


Figura 1 – Modelo para avaliação de QoS usando serviços ABR e CBR em uma rede
ATM

Como pode-se observar na Figura 1 o modelo é bem simplificado, onde LANs podem estar junto a cada switch ATM. Este detalhe é compensado pelo pequeno intervalo de tempo entre as chegadas do tráfego da base de dados (na realidade, não levaria 1.5 segundos para fazer um pedido à base de dados de uma estação de trabalho). Também, a simulação é para determinar o comportamento da rede quanto a QoS para transferência de uma imagem em paralelo ao tráfego de uma base de dados. O delay é uma métrica (parâmetro) de interesse neste modelo, assumindo que ambos tipos de tráfegos são multiplexados sobre um PVC ATM.

O ATMSw1 solicita ao ATMSw2, usando uma mensagem de 1000 Bytes (a resposta também é de 1000 Bytes). A transferência da imagem ocorre durante a simulação. A transferência da base de dados ocorre durante o tempo de 1.5 segundos.

O tráfego da base de dados usa um serviço ABR na rede ATM, com um PCR de 128 Kbps e um MCR de 8 Kbps. Para a transferência da imagem é usado um serviço CBR com um PCR de 120Kbps. Estes níveis de serviço estão definidos na rede ATM (dentro do módulo que será mostrado na Figura 5). Na Figura 2 esta ilustrado o módulo que representa o switch ATM. No modelo existem 2 switches, os quais têm a mesma configuração, por este motivo que o ATM Sw2 não é mostrado aqui.

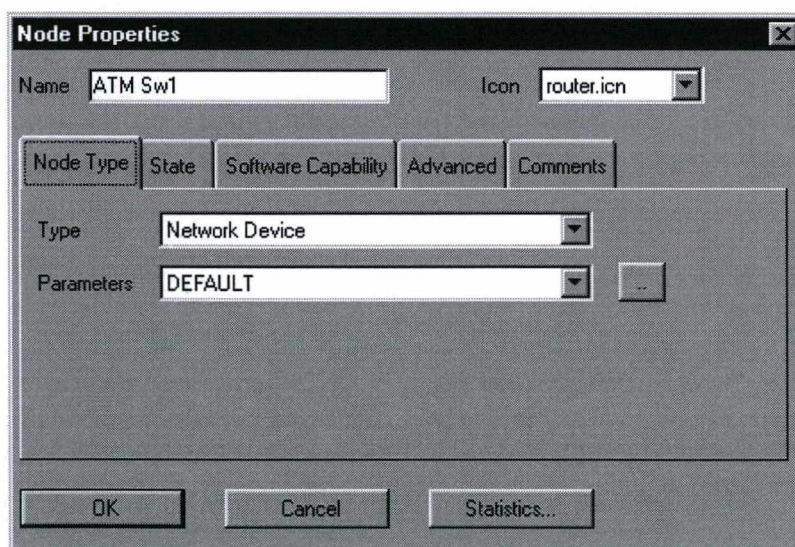


Figura 2 – Módulo que representa um dos Switches ATM do Modelo

O tráfego consiste de 2 tipos: transferência de uma imagem de 1 MB (representado na Figura 3) de um switch ATMSw2 para outro switch ATMSw1. O

segundo tipo de tráfego é um pedido e resposta a uma base de dados (visualizado na Figura 4).

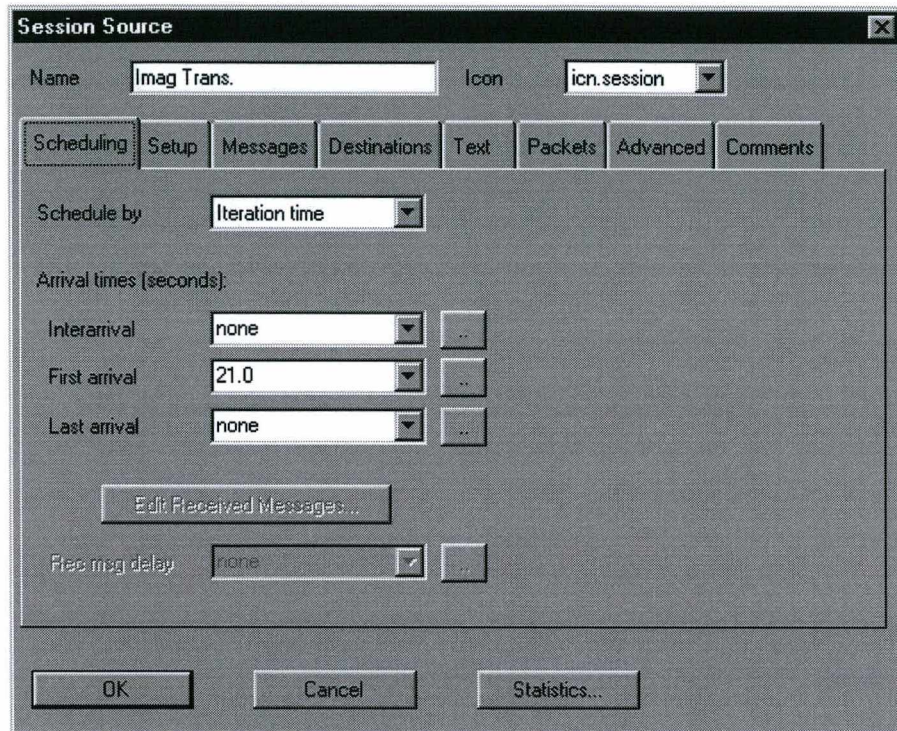


Figura 3 – Módulo que representa a geração do tráfego de imagem

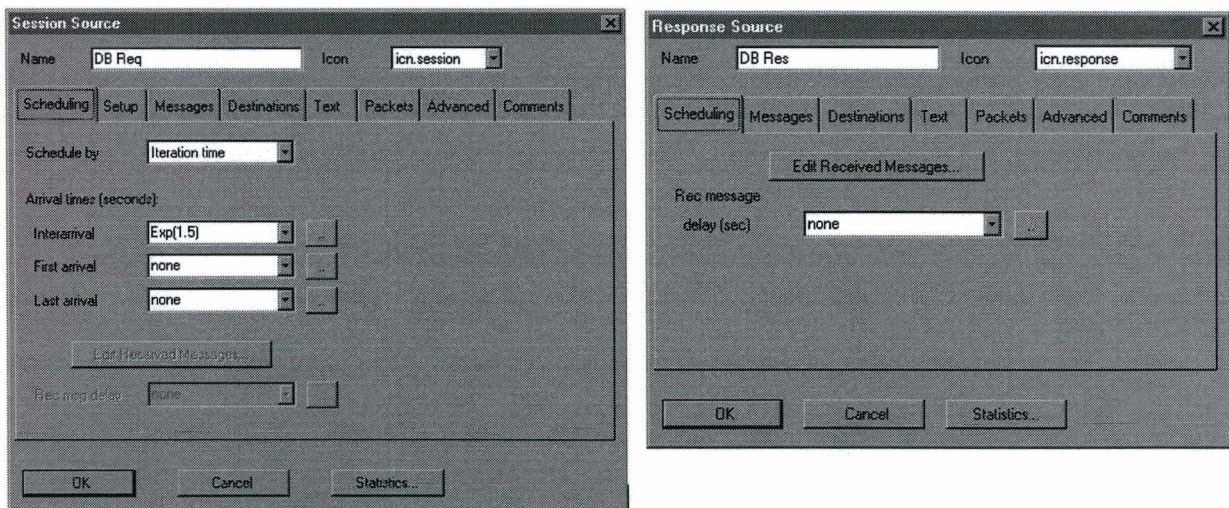


Figura 4 – Representação dos módulos responsáveis pela requisição e resposta ao Banco de Dados

Como a fonte do tráfego está relacionada às classes de serviço ATM, a fonte contém requerimentos de níveis de serviços, neste caso é de 10 pacotes para a

transferência de imagem. Entre o switch ATMSw2 e a rede, existe a classe de serviço CBR definida. Foi especificado para ela um nível de serviço máximo e mínimo, que neste caso foi setado 1 e 20 pacotes, respectivamente. Na incidência de 10 pacotes, dentro do limite, todos os pacotes criados para a fonte da transferência de imagem estão associados com a classe de serviço CBR. A Figura 5 mostra os níveis de serviços que foram definidos.

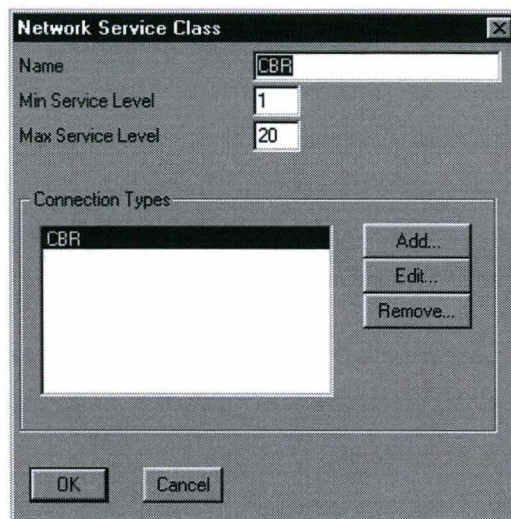


Figura 5 – Acordo de níveis de serviço para a classe CBR

Os switches são conectados por um link ponto-a-ponto de 128 Kbps de largura de banda (Figura 6).

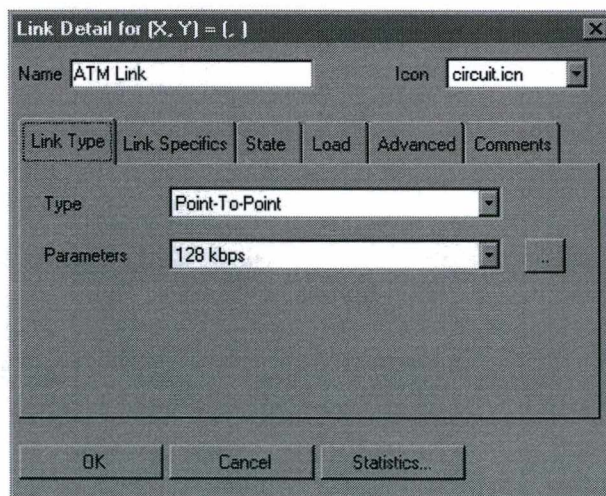


Figura 6 – Módulo que representa os parâmetros referentes ao Link ATM

APÊNDICE 3 - MODELAGEM E ANÁLISE DE TRÁFEGO DE UMA REDE TCP/IP SOBRE ATM

Este modelo apresenta uma estrutura de uma rede TCP/IP e ATM. A descrição do modelo está bem simplificada. Demonstra o tráfego TCP/IP sobre uma rede ATM. A topologia consiste de um backbone de rede ATM, que fornece duas classes de serviços: ABR e CBR, usadas para a transmissão de voz e transferência de arquivos, respectivamente (como mostra a Figura 1).

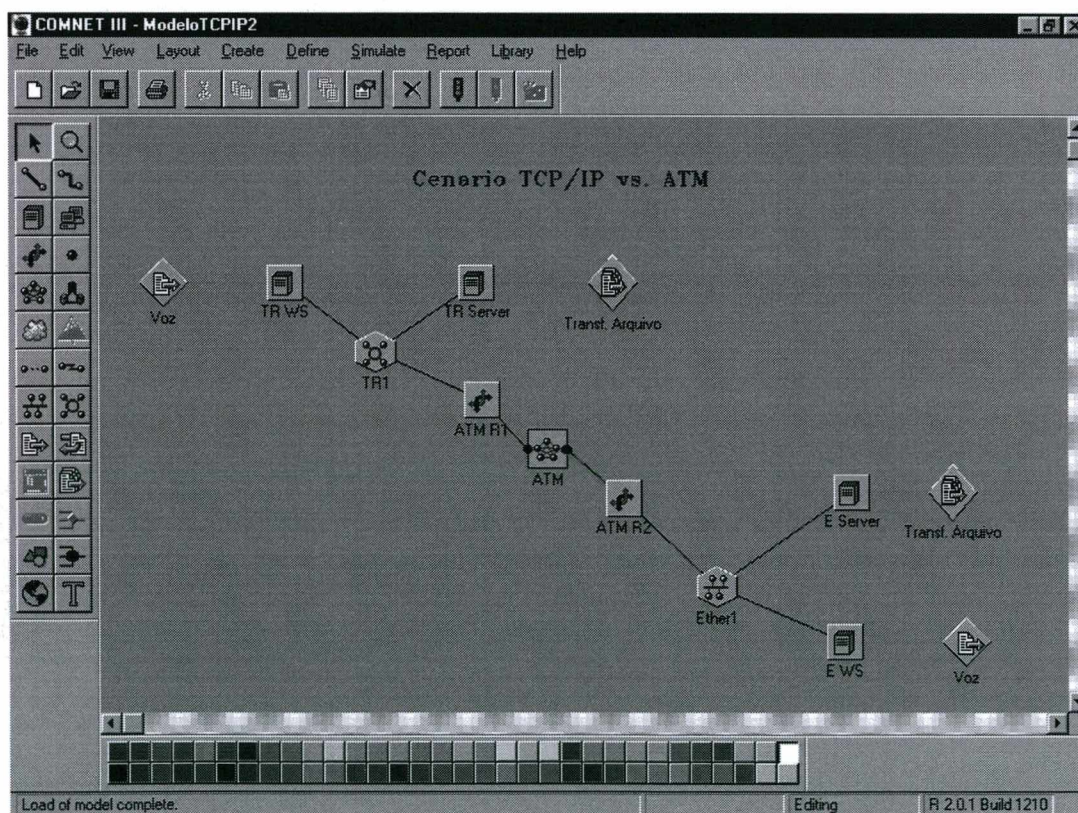


Figura 1 – Modelo TCP/IP sobre ATM

Em qualquer uma das extremidades da rede tem uma LAN com um servidor e uma estação de trabalho (Figura 2). Para ambas redes, *Token Ring* e a *LAN Ethernet*, foram atribuídas as taxas de transmissão de 16 Mbps e 10 Mbps, respectivamente. A largura de banda foi ajustada para refletir a largura de banda disponível, assumindo que para cada LAN é de 4 Mbps. Isto é para compensar o fato de que o tráfego da LAN local está incluído no modelo. Há 2 tipos de tráfego no modelo: transferência de arquivo e de voz (ilustrado na Figura 4).

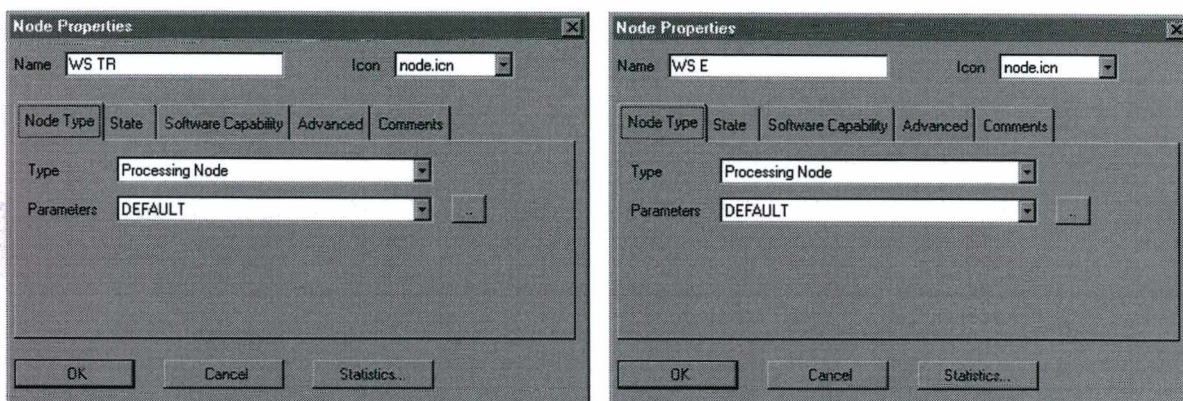


Figura 2 – Módulos que representam estações de trabalho da Rede Token Ring e Ethernet.

Tanto na rede Token Ring como na Ethernet há um servidor para armazenar o arquivo, a modelagem deste recurso é apresentada na Figura 3. A transferência de arquivos ocorre entre o servidor de cada LAN para a estação remota. O tamanho do arquivo é de 1 Mb e é transmitido usando TCP/IP nas bordas da rede.

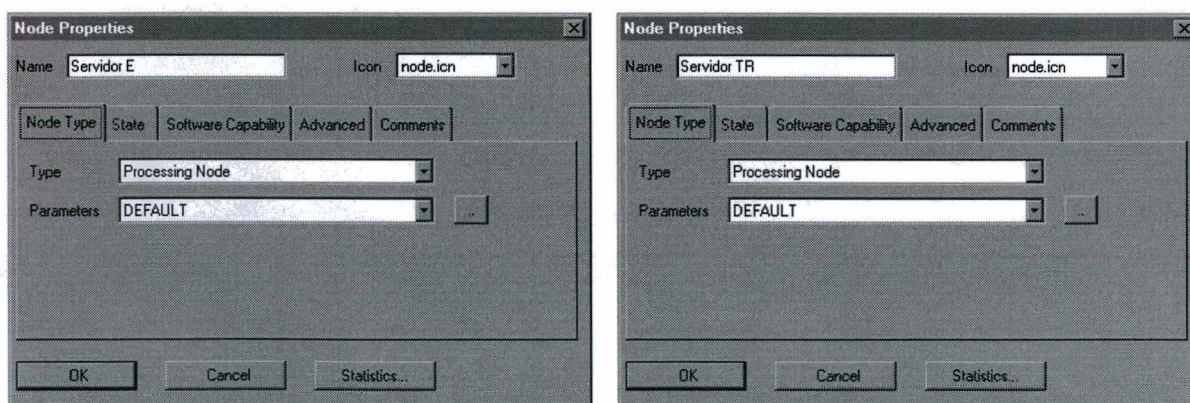


Figura 3 – Estes módulos representam os Servidores de arquivos da rede Token Ring e Ethernet.

Na próxima figura (Figura 4) são apresentados os módulos usados para representar o tráfego de voz e de transferência de imagens, tanto da rede Token Ring como da Ethernet.

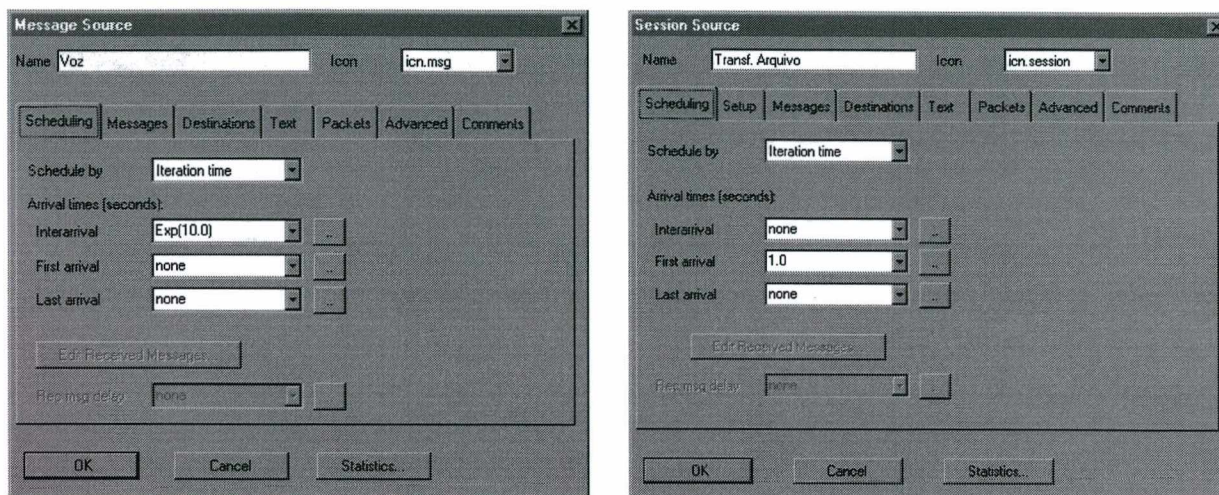


Figura 4 – Módulos que representam 2 tipos de tráfego: voz e transferência de arquivos (imagens).

O tráfego de voz é enviado de uma estação origem para uma estação remota. Ela ocorre de acordo com uma distribuição exponencial de 10 segundos. Este intervalo do tempo entre as chegadas é compensado pela simplificação feita sobre o número de estações da LAN. Por isso, a fonte representa o tráfego de voz de todas as estações da rede ATM, onde eles são mapeados para a classe de serviço ABR. Na Figura 5, o módulo *Link Properties* apresenta os parâmetros relacionados à topologia de cada rede (Token Ring e a Ethernet, respectivamente).

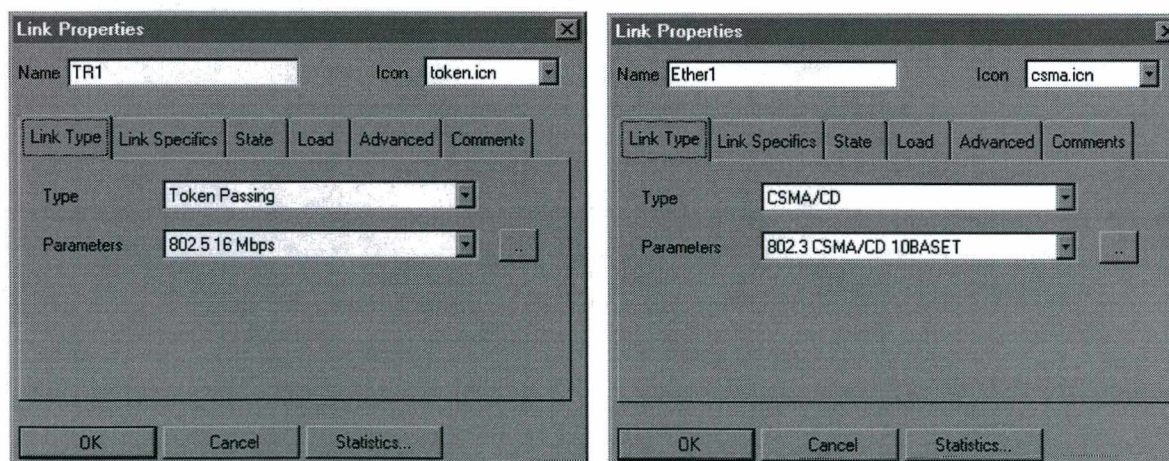


Figura 5 – Módulo que representa a configuração das redes Token Ring e Ethernet.

Os pacotes são segmentados em células ATM usando a categoria de serviço CBR (associação feita através dos parâmetros “*Net Srv Level*” na fonte geradora e “*Min Srv Level*”/ “*Max Srv Level*” na rede). Após sair da rede ATM, os pacotes são remontados e transmitidos para LAN destino. Para fazer esta função foram definidos 2 módulos nas extremidades da rede ATM representando um roteador e um switch (Figura 6).

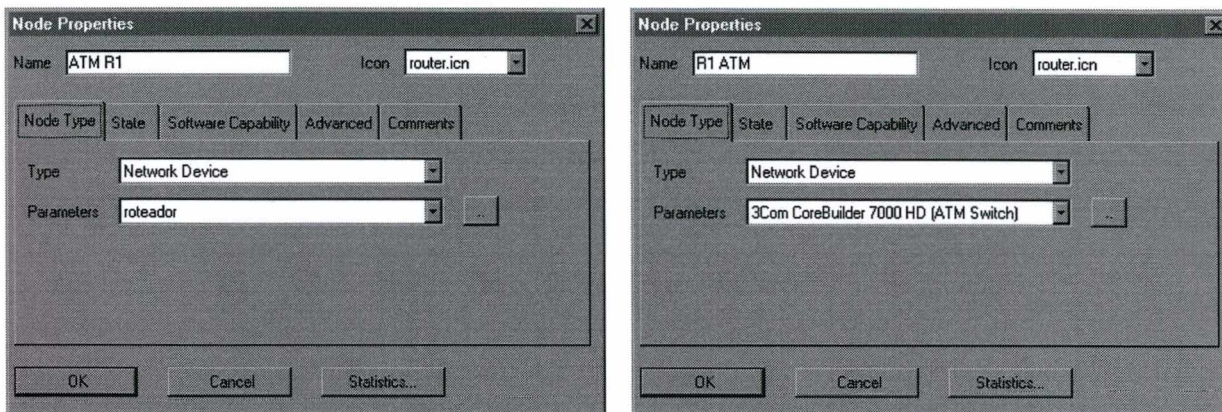


Figura 6 – Módulos que representam os dispositivos de borda da rede ATM.

Os outros parâmetros relacionados ao ATM (velocidade, encapsulamento dos pacotes) são representados no módulo *Network Detail*, mostrado na Figura 7.

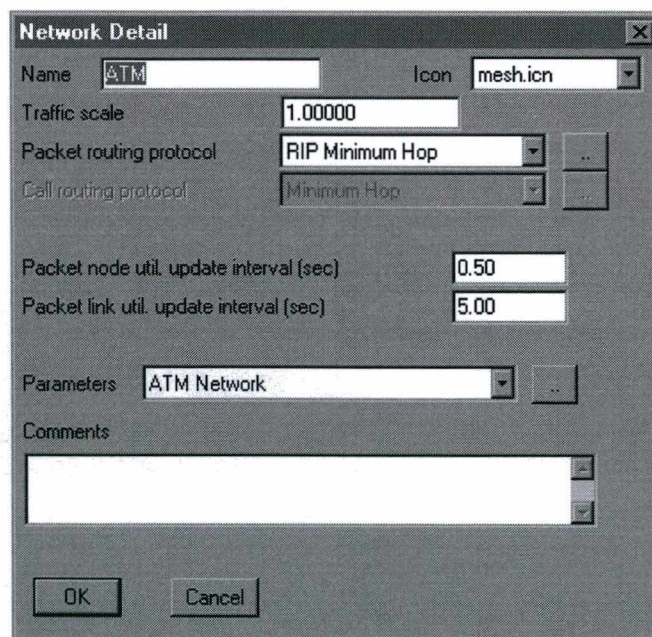


Figura 7 – Módulo que permite incorporar parâmetros do ATM no modelo.

Cada módulo da ferramenta de Simulação COMNET permite analisar os resultados em particular de cada componente do ambiente. Juntamente de cada módulo é apresentado um sub-módulo que permite coletar resultados e dados estatísticos como: utilização do recurso, saída e entrada de dados. Para isto, basta configurar habilitando em “ON” os parâmetros que se quer obter estatísticas e resultados. Como mostra a Figura 8.

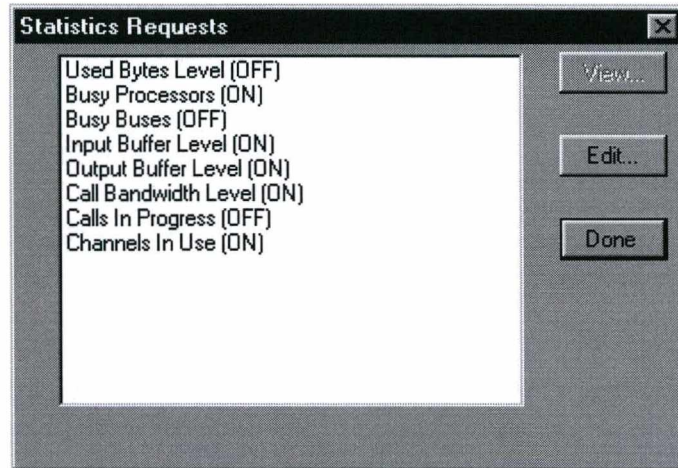


Figura 8 – Sub-Módulo que permite obter resultados e gerar estatísticas de um recurso.