

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

Jackson Alves Saraiva

Avaliação das propostas de integração IP sobre
ATM

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

Roberto Willrich, Dr.

Florianópolis, Fevereiro de 2001.

AVALIAÇÃO DAS PROPOSTAS DE INTEGRAÇÃO IP SOBRE ATM

Jackson Alves Saraiva

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

Prof. Dr. Roberto Willrich

Prof. Dr. Fernando Ostuni Gauthier

Banca Examinadora

Prof. Dr. Roberto Willrich

Prof. Dr. Fábio Paraguaçu Duarte da Costa

Prof. Dr. Rogério Cid Bastos

DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado a todas as pessoas que de uma forma ou outra me auxiliaram no seu desenvolvimento e a todos pesquisadores que buscam fazer sua contribuição para o desenvolvimento, não só tecnológico, mas também de metodologias de melhor utilização da tecnologia.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me iluminou e me deu força para que eu pudesse alcançar meus objetivos e superar as barreiras durante todo caminho.

À minha esposa Julieta, em reconhecimento aos muitos momentos roubados do nosso convívio durante a realização deste trabalho e também , me apoiando e sendo fonte de inspiração para que eu não desanimasse.

Aos meus filhos: Igor, Isis e Erick apesar de não terem me ajudado também não me atrapalharam, e isto já é uma grande ajuda.

Aos meus pais pelo carinho e dedicação, e aos meus parentes e amigos que sempre me ajudaram quando precisei.

Ao meu orientador Dr. Roberto Willrich que me guiou e deu todos os subsídios para que esse trabalho fosse desenvolvido.

Ao colega Nildo e sua esposa Eduarda pela grande ajuda e apoio.

E a todos que direta e indiretamente cooperaram ou me apoiaram no decorrer desse projeto.

Resumo

ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é uma das tecnologias de rede de alta velocidade mais adotada nos dias atuais, sendo que um dos principais diferenciais desta tecnologia é o provimento de Qualidade de Serviço. Atualmente, a tecnologia ATM deve conviver com o protocolo IP, devido principalmente ao grande volume de aplicações. Existem algumas alternativas em termos de integração do IP com ATM, por exemplo IPOA (Internet Protocol Over ATM), LANE (Lan Emulation), MPOA (MultiProtocol Over ATM) e MPLS (MultiProtocol Label Switch). Este trabalho apresenta estas propostas de integração IP sobre ATM, fazendo também uma análise comparativa. Outra contribuição deste trabalho é a definição de linhas guias para a seleção de uma destas opções de integração de IP sobre ATM durante o projeto de uma rede.

Palavras chaves

ATM, integração IP sobre ATM, IPOA, LANE, MPOA, MPLS, projeto de redes de computadores.

Abstract

ATM (Asynchronous Transfer Mode) is one of the technologies of high-speed net more adopted in the current days, and one of the principal differentiates of this technology is the provision of Quality of Service. Today, ATM must live together with the protocol IP, due mainly to the great volume of applications. There are some alternatives in terms of integration of IP with ATM, for instance IPOA (Internet Protocol Over ATM), LANE (Lan Emulation), MPOA (MultiProtocol Over ATM) e MPLS (MultiProtocol Label Switch). This work presents these solutions also it makes a comparative analysis. Another contribution of this work is the definition of guidelines for the selection of one of these options of integration of IP on ATM during the project of a network.

Keywords: ATM, IP over ATM, IPOA, LANE, MPOA, MPLS, and computer network project.

Índice

Capítulo 1	<i>Introdução</i>	1
1.1	Objetivo da Dissertação	2
1.2	Organização da Dissertação	3
1.2.1	Modelos de Referência OSI, TCP/IP e B-ISDN	3
1.3	O Modelo de Referência OSI	4
1.4	O Modelo de Referência TCP/IP	6
1.5	O Modelo de Referência ATM	7
1.5.1	Camada Física	8
1.5.2	Camada ATM	9
1.5.3	Camada de Adaptação ATM	10
1.6	Relação entre os modelos de referência	12
1.7	Integração IP sobre ATM	13
Capítulo 2	<i>Conceitos Básicos: Protocolo IP e ATM</i>	14
2.1	Conceitos básico do protocolo IP	14
2.1.1	Datagrama IP	15
2.1.2	Endereçamento IP	15
2.1.3	O Roteamento e Seus Componentes	16
2.1.4	Tabelas de roteamento	17
2.1.5	Protocolos de Roteamento	18
2.1.6	Protocolos de Roteamento Interno	19
2.1.7	Protocolo de Roteamento Externo	23
2.1.8	Qualidade de serviço em redes IP	23
2.2	Conceitos básicos da tecnologia ATM	26
2.2.1	Célula ATM	26
2.2.2	Endereçamento ATM	28
2.2.3	Circuitos Virtuais	29
2.2.4	Protocolos de Roteamento ATM	31
2.2.5	Qualidade de Serviço em redes ATM	33
2.3	Transmissão em rede	35
2.3.1	Transmissão <i>Unicast</i>	35
2.3.2	Transmissões <i>Broadcast</i>	35
2.3.3	Transmissões <i>Multicast</i>	36
2.4	Conclusão	37
Capítulo 3	<i>Serviços IP sobre ATM</i>	38
3.1	Problemas da Implantação de IP sobre ATM	39
3.2	Soluções para Integração IP sobre ATM	40
3.3	Modelo de Sobreposição (Overlay Model)	41
3.3.1	Solução por Emulação	42
3.3.2	Soluções Nativas	42

3.4	Modelo Integrado (peer model)	44
3.4.1	Comutação Baseada em Etiquetas	45
3.5	Conclusão	47
Capítulo 4 Soluções baseadas em comutação de etiquetas		48
4.1	Mapeamento baseado em Topologia	48
4.2	Mapeamento baseado em Fluxo	49
4.3	MPLS (MultiProtocol Label Switch)	51
4.4	Arquitetura MPLS	52
4.5	Conclusão	57
Capítulo 5 Solução por Emulação e Nativa		59
5.1	Serviço de Emulação de LAN (Lan Emulation)	59
5.1.1	A Estrutura do LANE	61
5.1.2	Resolução de Endereços	64
5.1.3	Transferência de dados	64
5.1.4	LANE 2.0	65
5.1.5	Características de Projeto	66
5.2	IPOA (IP over ATM)	67
5.2.1	Endereçamento no IPOA	68
5.2.2	Arquitetura IPOA	71
5.2.3	Funcionamento da rede IPOA	71
5.2.4	Divisão em Subredes ATM	73
5.2.5	Estabelecimento de Conexão	73
5.2.6	Alguns aperfeiçoamentos do IP over ATM	74
5.3	MPOA (Multiprocol Over ATM) do ATM Forum.	77
5.3.1	Arquitetura MPOA	77
5.3.2	Componentes do MPOA	78
5.3.3	Fluxos de informação entre os componentes lógicos	81
5.3.4	Modelos de endereçamento e sinalização do MPOA	82
5.3.5	O MPOA em operação	82
5.4	Conclusão	84
Capítulo 6 Estudo Comparativo		85
6.1	Descrição das principais vantagens e desvantagens.	85
6.1.1	IPOA	85
6.1.2	LANE	87
6.1.3	MPOA	88
6.1.4	MPLS	89
6.2	Estudo comparativo	90
6.2.1	Interoperabilidade/Padronização	91
6.2.2	LANExIPOAxMPOA	91
6.2.3	MPLS x MPOA	94
6.2.4	Escalabilidade	95
6.2.5	QoS em IP sobre ATM	95

6.3	Critérios de seleção	96
6.3.1	Redes Públicas	97
6.3.2	Redes Privadas	97
6.4	Conclusão	99
<i>Capítulo 7</i>	<i>Conclusão</i>	<i>100</i>
<i>Capítulo 8</i>	<i>Referências</i>	<i>104</i>

Índice de Figuras

Figura 1.	As camadas do Modelo de Referência OSI [TAN 96].....	4
Figura 2.	Modelo de Referência TCP/IP [SOA 95]	7
Figura 3.	O Modelo ATM [TAN 96].....	8
Figura 4.	Relação entre os Modelos de Referência [SOA 95][TAN 96].....	12
Figura 5.	Exemplos de integração ATM-TCP/IP.[SOA 95][TAN 96].....	13
Figura 6.	Datagrama IP [ROC 98].....	15
Figura 7.	As cinco formas de endereços IP.[SOA 95].....	16
Figura 8.	Tabelas de Roteamento [BRI 96]	17
Figura 9.	Representação da Arquitetura Internet [BRI 96]	19
Figura 10.	Datagrama IP para <i>Differentiated Services</i> do IETF [CER 97].....	25
Figura 11.	Célula ATM	27
Figura 12.	Formatos de endereçamentos ATM [ROE 98].....	28
Figura 13.	Canal Virtual (VC) e Caminho Virtual (VP)[BRI 96]	30
Figura 14.	Comutação de Caminhos Virtuais e Circuitos Virtuais[BRI 96].....	30
Figura 15.	Protocolos de roteamento ATM	32
Figura 16.	Protocolos entre comutadores[BRI 96]	33
Figura 17.	Cenário para interconexão IP sobre ATM [PAG 00a].....	41
Figura 18.	LANE: Solução por Emulação [PER 00].....	42
Figura 19.	Solução Nativa [PER 00]	43
Figura 20.	Modelos de Sobreposição [SOA 95][TAN 96].....	43
Figura 21.	Modelo Integrado [TAN 98].....	44
Figura 22.	Comutador IP.....	45
Figura 23.	Comutação de pacotes baseados em etiquetas (LBS)[ARA 98].....	46
Figura 24.	Estrutura do comutador IP da Ipsilon Networks[CAL 97].....	50
Figura 25.	Operação do IP Switch[CAL 97].....	51
Figura 26.	Protocolos da arquitetura MPLS[HAR 99].....	53
Figura 27.	Paradigma fundamental do MPLS [ROS 99].....	54
Figura 28.	Domínio MPLS[ROS 99].....	55
Figura 29.	Modelo de Referência de Protocolo do LANE[ARA 98]	61
Figura 30.	Estrutura do LANE	62
Figura 31.	Estrutura dos serviços LANE[ARA 98].....	63
Figura 32.	As camadas de protocolo do IP over ATM[SOA 95][TAN 96].....	67
Figura 33.	Como a LIS faz a comunicação[ARA 98]	68
Figura 34.	Subredes Lógicas IP –LIS [ARA 98].....	70
Figura 35.	Arquitetura IPOA[ARA 98].....	71
Figura 36.	Exemplo de estabelecimento de conexão em IPOA[LAU 98].....	74
Figura 37.	Alguns aperfeiçoamentos do IP over ATM.....	75

Figura 38.	Arquitetura MPOA[MAR 95].....	78
Figura 39.	Componentes do MPOA: [MAR 95].....	79
Figura 40.	Fluxo de informação entre os componentes do MPOA[DOR 96]	81
Figura 41.	Modelo de referencia para interoperabilidadedo do MPOA [ROC 98].....	83
Figura 42.	Crêterios de sele�o.....	98

Índice de Tabelas

Tabela 1.	Características das AAL's. [TAN 96]	11
Tabela 2.	Comparação entre as três abordagens [ROC 98]	25
Tabela 3.	Diferenças entre o IP e o ATM	39
Tabela 4.	Principais características das soluções proprietárias	52
Tabela 5.	Estudo comparativo entre IPOAxLANExMPOA	93
Tabela 6.	Estudo comparativo entre os modelos multiprotocolos.	96

Capítulo 1 Introdução

Cada vez mais pessoas usam computadores e acessam a Internet. Como se não bastasse, as Intranets disponibilizaram o acesso aos recursos da empresa para qualquer um, em qualquer lugar. Este novo paradigma derruba de vez a famosa regra popular de que 80% do tráfego permanece na sub-rede local e 20% é roteado entre sub-redes. Estas percentagens não são mais válidas no ambiente de computação de hoje, onde todos os computadores podem potencialmente trocar dados entre si [ARN 01]. Com o poder fornecido por navegadores Web (World Wide Web) e com a proliferação de páginas Web, os usuários de hoje podem navegar com facilidades na rede, passando facilmente de uma fonte de informação para outra. O padrão de tráfego resultante é imprevisível e dinâmico.

Não há dúvida de que IP (*Internet Protocol*) é um dos maiores sucessos na história da tecnologia da informação. Hoje, o IP e as estruturas construídas sobre ele, tais como a Web, estão mudando nossas vidas, nossas interações e nossos negócios.

Atualmente, o IP está migrando da área acadêmica e de entretenimento para a principal via de negócios. E-commerce, negócios baseados na Web. Intranets corporativas e extranet são claramente o futuro. As aplicações das redes atuais e do futuro precisarão cada vez mais de redes velozes e suporte para aplicações de tempo real, como voz e vídeo. A própria Internet2 (<http://www.internet2.org>) constitui-se uma iniciativa gigantesca neste sentido, alocando recursos do governo e de grandes organizações privadas para trazer soluções de alta tecnologia. Ao mesmo tempo, a infraestrutura da rede mundial vem se estendendo há décadas em um plano que foi baseado nos serviços de banda e aplicações (telefonia pública mundial e os serviços de dados), visando uma estrutura de rede global de amanhã. Esse plano é atribuído a uma tecnologia muito específica — a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*).

Hoje, nós estamos correndo contra um mundo com duas realidades: Serviço IP e infraestrutura ATM. Apesar de a tecnologia ATM ter sido inicialmente pensada para WANs (Wide Area Networks), verificou-se ser ela muito boa também para LANs. O ATM aumenta o desempenho e ajuda na administração. Oferece qualidade de serviço e banda passante para novas aplicações que já apareceram e outras que ainda nem foram

imaginadas. Diante de tudo isto, instalar uma rede ATM na sua LAN não é tão simples e imediata, apesar de agradável. Ela significaria jogar fora uma enorme base instalada que seria incompatível com a LAN ATM. Isto é inviável, não dá para ignorar de repente muito do que já foi construído.

Está bem claro que se a rede ATM emplacar no mundo em geral, isto só vai ocorrer daqui a alguns anos. Então enquanto não é admissível ter uma rede ATM nativa (com ambiente todo ATM, colocando a aplicação em cima do ATM, diretamente), buscam-se soluções intermediárias para a migração para o ATM de forma mais suave, já que se acredita que o ATM é uma tecnologia do futuro.

Atualmente existem algumas alternativas em termos de integração do IP com ATM, por exemplo IPOA (Internet Protocol Over ATM), LANE (Lan Emulation), MPOA (MultProtocol Over ATM) e MPLS (MultProtocol Label Switch).

1.1 Objetivo da Dissertação

Esta dissertação tem dois objetivos principais. O primeiro é fazer uma análise comparativa das principais soluções de integração IP sobre ATM. Sendo que as tecnologias avaliadas foram IPOA, LANE, MPOA e MPLS. O segundo objetivo é auxiliar os projetistas de rede na escolha da melhor solução de integração IP sobre ATM levando em consideração os requisitos específicos de cada projeto de rede de computadores. A perspectiva é que todos os projetistas de rede que pretendam aumentar o campo de ação das redes IP além do domínio de uma LAN possam se utilizar deste trabalho como fonte de conhecimento e aprimoramento.

Como requisitos específicos, pode-se citar:

- Estudo da tecnologia ATM;
- Estudo das soluções de integração IP sobre ATM: IPOA, LANE, MPOA e MPLS, incluindo o levantamento dos pontos positivos e negativos de cada tecnologia.
- Realizar uma análise comparativa das soluções de integração IP sobre ATM.
- Identificar linhas guias para a escolha da solução de integração durante o projeto de uma rede IP/ATM.

1.2 Organização da Dissertação

O restante desta dissertação é organizado na forma que segue. No capítulo 2 é discutido os Modelos de Referência OSI, TCP/IP e B-ISDN, fazendo no final uma relação entre eles. O capítulo 3 aborda os conceitos básicos do protocolo IP e da tecnologia ATM, mostrando os principais tópicos dessas tecnologias que serão importantes no decorrer dos próximos capítulos. No capítulo 4 é feito um estudo sobre a integração do protocolo IP sobre ATM, apresentando as soluções possíveis e os problemas que são encontrados nesta integração. O capítulo 5 discute as soluções para integração de IP e ATM baseadas em comutação de etiquetas, fazendo uma divisão dessas soluções baseadas em fluxo, topologia e ambos, discutirá algumas soluções proprietárias e o MPLS. No capítulo 6 é abordado os modelos sobrepostos: LANE, MPOA e IPOA. No capítulo 7 é feito um estudo comparativo entre os diversos modelos apresentados. Além disso, este capítulo apresenta as linhas guias para auxiliar os projetistas de redes de computadores na escolha da melhor integração do IP sobre ATM, levando em consideração os requisitos de projetos. Finalmente, o capítulo 8 apresenta as conclusões e recomendações para trabalhos futuros deste trabalho.

1.2.1 Modelos de Referência OSI, TCP/IP e B-ISDN

Da experiência obtida no projeto de redes de computadores, vários princípios surgiram, possibilitando que novos projetos fossem desenvolvidos de uma forma mais estruturada. Dentre esses princípios, se destaca a idéia de estruturar a rede como um conjunto de camadas hierárquicas, cada uma sendo construída utilizando funções e serviços oferecidos pelas camadas inferiores. O objetivo destes modelos é permitir o intercâmbio de informações entre computadores de fabricantes distintos tornando necessário definir uma arquitetura única, e para garantir que nenhum fabricante levasse vantagem em relação aos outros a arquitetura teria que ser aberta e pública. Foi com esse objetivo que a International Organization for Standardization (ISO) definiu o modelo denominado Reference Model for Open Interconnection (OSI) [ISO 84, ISO 92]. [SOA 95].

Este capítulo apresenta 3 modelos de referência, o modelo de referência OSI, TCP/IP e ATM.

1.3 O Modelo de Referência OSI

A Organização Internacional para Padronização (ISO), é a instituição responsável pela implantação de um modelo geral para interconexão de sistema denominado *Modelo de Referência para a Interconexão de Sistemas Abertos* (modelo OSI).

O objetivo principal do modelo OSI é proporcionar uma base para a coordenação do desenvolvimento de padrões relativos à interconexão de sistemas de maneira flexível e utilizando facilidades de comunicação de dados.

O modelo OSI diz respeito à interconexão de sistemas - o modo como eles trocam informações - e não às funções internas que são executadas por um dado sistema. O modelo OSI oferece uma visão generalizada de uma arquitetura estratificada e propõe uma estrutura com sete níveis com referência para a arquitetura dos protocolos de redes de computadores .

As camadas OSI foram definidas por pesquisadores ao longo de anos, sempre com o compromisso acadêmico de ser um modelo de referência.

7	Aplicação
6	Apresentação
5	Sessão
4	Transporte
3	Rede
2	Enlace
1	Física

Figura 1. As camadas do Modelo de Referência OSI [TAN 96]

O Modelo OSI (Figura 1) é organizado em sete camadas: física, de enlace, de dados, de rede, de transporte, de sessão, de apresentação e de aplicação. A seguir serão apresentadas as atividades realizadas por cada uma destas camadas.

1. **Física** : Ativação e desativação das conexões físicas, mediante solicitação da camada de enlace de dados. Transmissão dos bits por uma conexão física em modo

síncrono ou assíncrono. Tratamento das atividades de gerência da camada física, inclusive a ativação e o controle de erros.

2. **Enlace de Dados** : Estabelecimento e liberação de conexões de enlace de dados. Sincronização da recepção de dados que tiverem sido partidos por várias conexões físicas. Detecção e correção de erros de transmissão, com retransmissão de quadros, se necessário.
3. **Rede** : Determinação de um roteamento ótimo sobre as conexões de rede que podem existir entre dois endereços de rede. Provisão de uma conexão de rede entre duas entidades de transporte. Multiplexação de múltiplas conexões de rede em uma única conexão de enlace de dados. Tratamento das atividades da camada de rede, inclusive ativação e controle de erros.
4. **Transporte** : Colocação em seqüência das unidades de dados transferidas, para garantir que sejam entregues na mesma seqüência em que foram enviadas. Detecção de erros e recuperação após erros. Controle de fluxo de dados para evitar sobrecarga dos recursos da rede. Realização das atividades de supervisão da camada de transporte.
5. **Sessão** : Provimento de um mapeamento um-para-um entre uma conexão de sessão e uma conexão de apresentação, em qualquer momento. Evitar que uma entidade de apresentação seja sobrecarregada de dados, pelo uso do controle de fluxo de transporte. Restabelecimento de uma conexão de transporte para suportar uma conexão de sessão. Realização das atividades de gerência da camada de sessão.
6. **Apresentação** : Emissão de uma solicitação para que a camada de sessão estabeleça uma sessão. Iniciação da transferência de dados entre entidades de aplicação ou usuários. Execução de quaisquer transformações ou conversões de dados que forem requeridas. Emissão de uma solicitação para que a camada de sessão encerre a sessão.
7. **Aplicação** : Execução das *funções de aplicação comuns*, que são funções que proporcionam capacidades úteis a muitas aplicações. Execução das *funções de aplicação específicas*, que são funções necessárias para atenderem aos requisitos de uma particular aplicação.[TAN 96].

1.4 O Modelo de Referência TCP/IP

O TCP/IP foi desenhado segundo uma arquitetura de pilha, onde diversas camadas de software interagem somente com as camadas acima e abaixo. Há diversas semelhanças com o modelo conceitual OSI, mas o TCP/IP é anterior à formalização deste modelo e portanto possui algumas diferenças.

O nome TCP/IP vem dos nomes dos protocolos mais utilizados desta pilha, o IP (*Internet Protocol*) e o TCP (*Transmission Control Protocol*). Mas a pilha TCP/IP possui ainda muitos outros protocolos, vários deles necessários para que o TCP e o IP desempenhem corretamente as suas funções.

O modelo mais aceito para descrever a arquitetura TCP/IP é composto de quatro camadas (Figura 2):

1. **Acesso à rede ou Host/Rede:** os protocolos de enlace têm a função de fazer com que informações sejam transmitidas de um computador para outro em uma mesma mídia de acesso compartilhado (também chamada de rede local) ou em uma ligação ponto-a-ponto (ex: modem).
2. **Internet:** protocolo de rede, o Internet Protocol (IP), é responsável por fazer com que as informações enviadas por um computador cheguem a outros computadores mesmo que eles estejam em redes fisicamente distintas, não existindo conexão direta entre eles. Como o próprio nome (Inter-net) diz, o IP realiza a conexão entre redes
3. **Transporte:** Os protocolos de transporte mudam o objetivo, que era conectar dois equipamentos, para conectar dois programas. Você pode ter em um mesmo computador vários programas trabalhando com a rede simultaneamente, por exemplo um browser Web e um leitor de e-mail. Da mesma forma, um mesmo computador pode estar rodando ao mesmo tempo um servidor Web e um servidor POP3. Os protocolos de transporte (UDP e TCP) atribuem a cada programa um número de porta, que é anexado a cada pacote de modo que o TCP/IP saiba para qual programa entregar cada mensagem recebida pela rede.
4. **Aplicação:** os protocolos de aplicação são específicos para cada programa que faz uso da rede. Desta forma existe um protocolo para a conversação entre um servidor web e um browser web (HTTP), um protocolo para a conversação entre um cliente Telnet e um servidor (daemon) Telnet, e assim em diante. Cada aplicação de rede

tem o seu próprio protocolo de comunicação, que utiliza os protocolos das camadas mais baixas para poder atingir o seu destino.

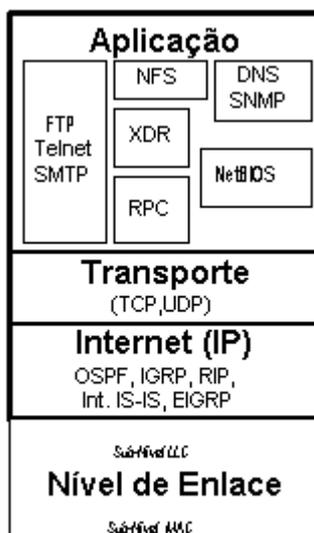


Figura 2. Modelo de Referência TCP/IP [SOA 95]

1.5 O Modelo de Referência ATM

O modelo *Open Systems Interconnection* – OSI é muito usado para modelar a maioria dos sistemas de comunicação. A tecnologia ATM também é modelada com a mesma arquitetura hierárquica, entretanto somente as camadas mais baixas são utilizadas. Assim como no modelo OSI/ISO, a tecnologia ATM (figura 3) também é estruturada em camadas, que substituem algumas ou uma parte das camadas da pilha original de protocolos.

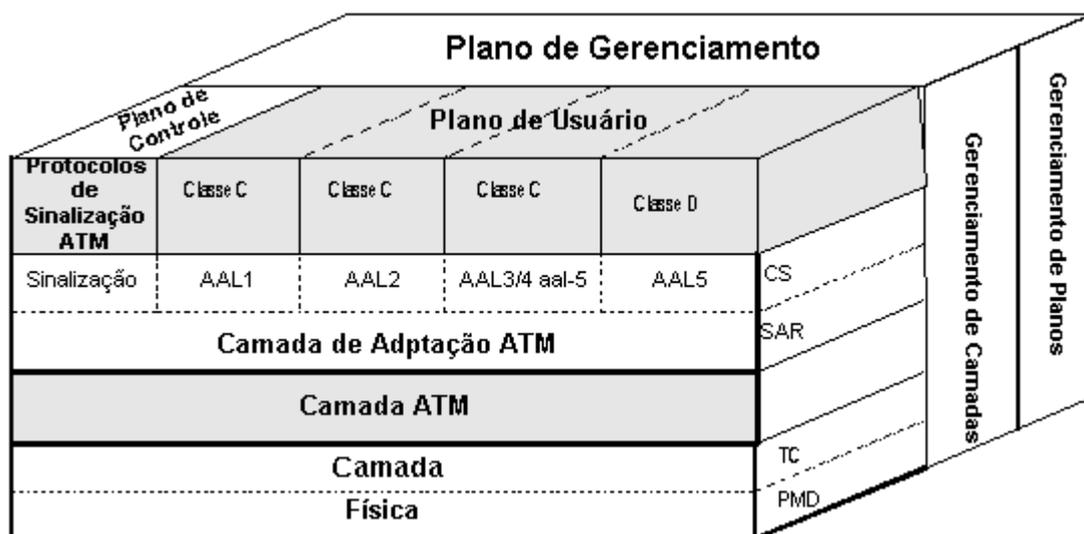


Figura 3. O Modelo ATM [TAN 96]

1.5.1 Camada Física

A camada física do modelo ATM é subdividida em outras duas camadas:

- Subcamada de Meio Físico (*Physical Medium Sublayer – PMS*).
Define as características elétricas, mecânicas e óticas do meio físico utilizado, bem como questões de sincronismo para transmissão/recepção de bits
- Subcamada de Convergência de Transmissão (*Transmission Convergence Sublayer – TCS*).
É responsável por diversas tarefas, sendo as principais: geração dos bits de controle de erro, bem como detecção e correção de erros nos cabeçalhos, além do delineamento das células.

O ATM Forum estabelece quatro padrões diferentes para a Camada Física. No entanto, os mais importantes baseiam-se nos modelos *Synchronous Optical Network* - SONET e *Synchronous Digital Hierarchy* - SDH. Esses modelos são praticamente equivalentes, e surgiram como tentativa de adaptação do *Time Division Multiplexing* – TDM às grandes frequências de transmissão possibilitadas pelas fibras óticas. Basicamente, as diferenças entre os dois estão no que diz respeito a frequência/velocidade de operação, meio físico utilizado e estruturação de dados.

No quesito transmissão, o SONET estabelece a taxa de 51,84 Mb/s, conhecida como STS-1 para sinais elétricos e OC-1 para sinais óticos. Existem ainda frequências

maiores, múltiplas da frequência básica (OC-n ou STS-n), sendo a máxima (n=48) 2488,32 MB/s.

No padrão SDH, a frequência básica de operação é de 155,52 Mb/s, chamada de STM-1. Da mesma forma, existem taxas maiores (STM-n), sendo a máxima igual a do padrão SONET. O SONET e o SDH também são responsáveis pela estrutura dos pacotes de dados enviados.

1.5.2 Camada ATM

A Camada ATM é a camada responsável pelas células ATM (mais detalhes na sessão 3.3.1). O formato da célula consiste de 5 + 48 bytes, cabeçalho e dados, respectivamente. O cabeçalho contém informações sobre VC/VP, tipo e controle de erro. A parte de dados contém realmente os dados que devem ser transmitidos pela rede. As células são transmitidas serialmente e se propagam em uma sequência numérica estrita através da rede.

A parte de dados da célula (*payload*) teve seu tamanho definido considerando o compromisso entre a eficiência na transmissão de grandes pacotes de dados (célula grande) e a minimização do tempo atraso devido a processamento extramamente importante para áudio/voz, vídeo e protocolos sensíveis a este atraso. Embora não especificamente devido a isto, o tamanho de 48 bytes acomoda convenientemente pacotes IPX de 2x24 bytes.

Abaixo, algumas das principais funções desta camada:

- Multiplexação e demultiplexação de células de diferentes conexões (VCI/VPI) em um único fluxo de células.
- Translação dos identificadores da célula quando necessário em muitos casos quando a célula é comutada de uma conexão física para outra em um comutador ATM. Essa translação pode ser efetuada sobre o VCI ou VPI separadamente ou em ambos simultaneamente.
- Funções de qualificação da classe de QoS e de congestionamento em tráfego entre usuários.
- Extração/adição do cabeçalho de célula antes/depois da célula ser enviada para a Camada de Adaptação ATM.
- Implementação do mecanismo de controle de fluxo na interface de rede do usuário.

1.5.3 Camada de Adaptação ATM

A Camada de Adaptação, *Adaptation ATM Layer* – AAL, interfaceia protocolos de camadas superiores com a Camada ATM. Especificamente sua função é ajustar os serviços da Camada ATM para aqueles serviços requisitados pelas camadas superiores tais como emulação de circuitos, vídeo, áudio, *frame relay*, ...).

Quando a Camada de Adaptação recebe informação das camadas superiores, sua função principal é segmentar os dados em células ATM. Quando a informação vem da camada inferior, sua função é reunir a parte de dados das células em pacotes com formatos que as camadas superiores possam tratar. Isto é feito na subcamada SSA que abordaremos a seguir.

A Camada de Adaptação ATM consiste de duas subcamadas:

- Subcamada de Convergência – SC
Recebe os dados das várias aplicações e transforma em pacotes de tamanhos variáveis chamados de *Convergence Sublayer Protocol Data Units* – CS-PDUS.
- Subcamada de Segmentação e Adição – SSA
Recebe os CS-PDUS e efetua a segmentação em um ou mais pacotes de 48 bytes para que sejam diretamente colocados na parte da célula ATM destinada aos dados, e aí transmitidas à camada Física.

A função da Camada de Adaptação é acomodar os dados vindo de várias fontes com diferentes características. Especificamente seu trabalho é adaptar os serviços que são requisitados pelas camadas superiores.

Ao contrário dos modelos de referência bidimensionais anteriores, o modelo ATM é, como mostra a figura 3, um modelo tridimensional. O plano de usuário trata do transporte de dados, controle de fluxo, correção de erro e outras funções de usuário. Já o plano de controle diz respeito ao gerenciamento da conexão. Sendo assim, a Camada de Adaptação define os princípios básicos que serão utilizados nas camadas inferiores. Esta camada descreve os atributos dos serviços em termos de três parâmetros: *Bit Rate*, *Requerimento do Tempo de Transmissão* e o *Modo de Conexão*. A tabela abaixo caracteriza os 4 tipos de AAL.

Características	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	CLASSE D
Taxa de bit	Constante	Variável		
Temporização entre origem e destino	Requerida		Não requerida	
Tipo de Transporte	Orientado a Conexão			Não orientado a conexão
Protocolo AAL	AAL-1	AAL-2	AAL-3/4 AAL-5	AAL-5
Aplicações Típicas	Voz ou Vídeo com taxa const.	Vídeo com taxa variável	Dados Comp. Frame Relay, X.25	Dados TCP/IP, SMDS

Tabela 1. Características das AAL's. [TAN 96]

Abaixo, descrevemos cada uma destas classes exemplificando com alguns serviços típicos:

- Classe A – Serviço *Constant Bit Rate* – CBR: serviços de voz (64Kbit/s), vídeo não comprimido e linhas alugadas para redes privadas.
- Classe B – Serviço *Variable Bit Rate* – CBR: serviços de voz e vídeo comprimidos.
- Classe C – Serviço de Dados Orientados a Conexão: Transferência de dados orientada a conexão e geralmente aplicações de rede onde a conexão é estabelecida antes da transferência de dados. Originalmente foi recomendado pela *International Telecommunications Union* – ITU dois tipos de protocolos para suportar estes tipos de serviços e estes dois tipos foram reunidos em um único chamado AAL3/4. Devido a alta complexidade dos protocolos AAL3/4, foi proposto o protocolo AAL5 que passou a ser usado nesta classe de serviços.
- Classe D – *Connectionless Data Service* – CDD: serviços de tráfego de datagramas e em geral, aplicações de rede onde nenhuma conexão é estabelecida anteriormente à transferência, por exemplo X.25 e *Frame Relay*. AAL3/4 e AAL5, ambos podem ser usados nesta classe de serviços.

1.6 Relação entre os modelos de referência

A figura 4 mostra o relacionamento baseado no conceito de pilha de protocolos independentes entre o Modelo de Referência OSI, o Modelo de Referência TCP/IP e o Modelo ATM, sendo que, enquanto o OSI com 7 camadas e o TCP/IP com 4 camadas são modelos bidimensionais, o ATM é um modelo tridimensional, apresentando várias funções e camadas e, especificamente as camadas posteriores que são 3 serão as comparadas com o modelo OSI.

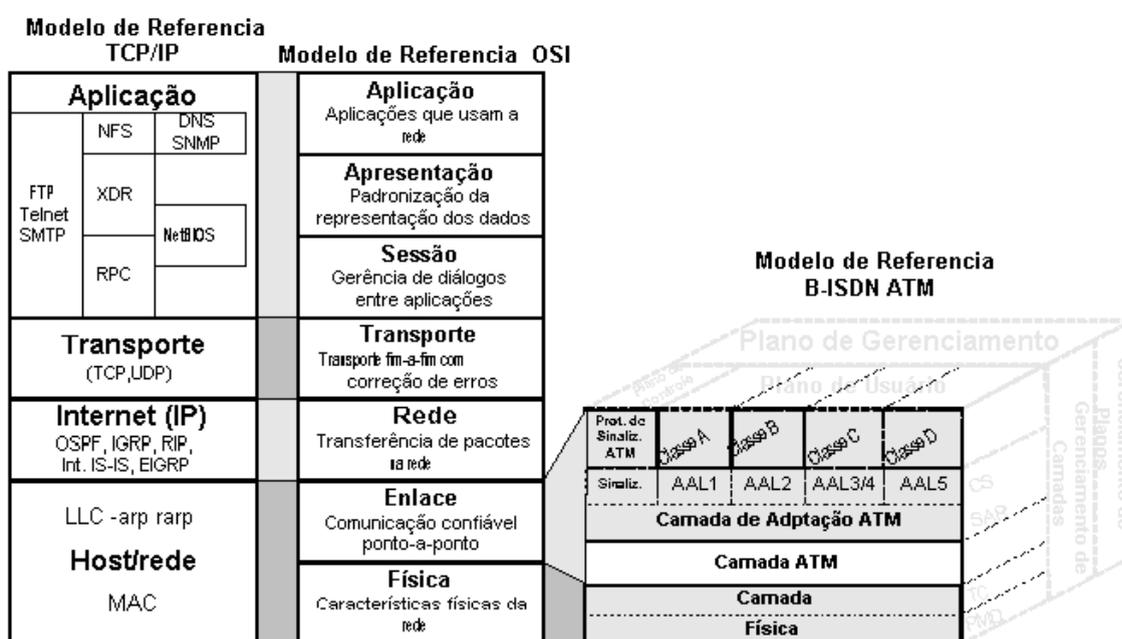


Figura 4. Relação entre os Modelos de Referência [SOA 95][TAN 96]

As camadas de Sessão e Apresentação do modelo OSI são pouco utilizadas pelo modelo TCP/IP, e as camadas Física e Enlace de Dados do OSI formam a camada Host/Rede no TCP/IP. Enquanto no ATM especificamente, as camadas ATM substituem a camada Física e uma parte da camada de Enlace de Dados (*Data Link*). Dessa forma, os serviços oferecidos a camada de rede são os mesmos, só que com uma velocidade maior. Observa-se que a camada 3 (camada Rede no modelo OSI e camada Internet no modelo TCP/IP) está em contato direto com a subcamada MAC, ou seja: a infra-estrutura ATM é escondida das aplicações, uma vez que o nível de rede continua a "enxergar", abaixo de si, a subcamada MAC

1.7 Integração IP sobre ATM

Não há dúvida de que IP é um dos maiores sucessos na história da tecnologia da informação. Hoje, o IP e as estruturas construídas sobre ele, tais como a World Wide Web, estão mudando nossas vidas, nossas interações e nossos negócios. Ao mesmo tempo, a infra-estrutura da rede mundial tem se movido num plano que vem se estendendo a décadas: um plano baseado nos serviços de banda e aplicações. Além disso, esse plano é atribuído a uma tecnologia muito específica, e, esta tecnologia é o ATM. Hoje, o mundo tem duas realidades: serviços IP e a infra-estrutura ATM.

. A figura 5 mostra a "inserção" ou "integração" do modelo ATM com o modelo de referência TCP/IP onde a camada física é sempre controlada pelo ATM.

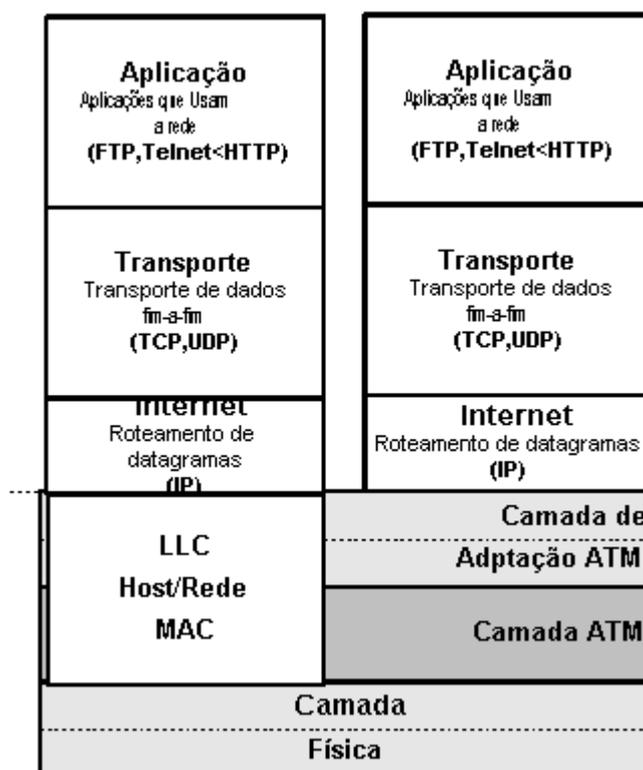


Figura 5. Exemplos de integração ATM-TCP/IP.[SOA 95][TAN 96]

Os próximos capítulos analisam essa convergência, as várias estratégias oferecidas e como elas se diferenciam, além da apresentação dos benefícios oferecidos.

Capítulo 2 Conceitos Básicos: Protocolo IP e ATM

A Internet, na sua maioria, se baseia em IP. A alternativa de implementação de rede locais ATM chamada *IP over ATM* surge ao se perceber que atualmente o ATM não pode simplesmente tomar o lugar do IP. É uma solução "diplomática" em que o ATM vai se infiltrando, se fazendo presente no mundo das redes, mas tem que deixar de lado alguns dos seus objetivos. Não é, logicamente, tão ideal quanto o ATM nativo. Por exemplo, o IP oferece serviço de melhor esforço, e não deixa que a desejada qualidade de serviço do ATM seja alcançada. Na tentativa de se fazer conviver e interoperar o IP e o ATM uma série de problemas, mencionados na introdução, devem ser resolvidos, em função da diferença de filosofia de projetos dos dois.

Neste capítulo será feita uma breve revisão sobre o protocolo IP e sobre as principais características do ATM.

2.1 Conceitos básico do protocolo IP

O elemento que mantém a Internet unida é o protocolo de camada de rede, o IP (*Internet Protocol*). Ao contrário da maioria dos protocolos da camada de rede, o IP foi projetado desde o início tendo como objetivo a ligação inter-redes. A função do IP é fornecer a melhor forma de transportar datagramas da origem para o destino, independentemente de essas máquinas estarem na mesma rede ou em outras redes intermediárias.

IP é um protocolo não confiável, isto é, não há garantia que o pacote foi entregue corretamente, sem controle de seqüenciação, não detecta erros nem informa o transmissor

O IP é um protocolo não orientado a conexão pois não há o estabelecimento de uma conexão para o envio dos dados entre dois nodos da rede, introduzindo o conceito de datagrama. Abordaremos os seguintes conceitos : datagrama, endereçamento, roteamento e qualidade de serviço em redes IP.[TAN 96]

2.1.1 Datagrama IP

Um datagrama (Figura 6) é um pacote que caminha pela rede IP contendo em seu cabeçalho o endereço de origem e endereço de destino aos quais ele está relacionado. Todos os datagramas são roteados independentemente na rede, não sendo garantida a ordem de chegada no destino como a mesma de envio. Também não há garantia de chegada desses datagramas ao destino.

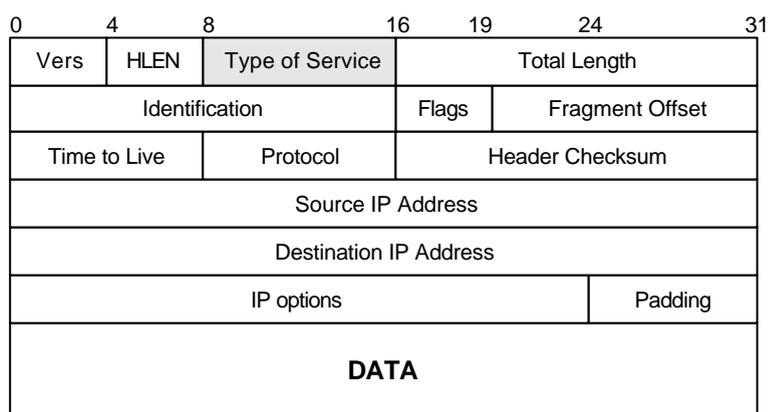


Figura 6. Datagrama IP [ROC 98]

Diferentemente do protocolo sinalização da tecnologia ATM, assunto da próxima seção, os protocolos de roteamento não se preocupam com questões relativas à Qualidade de Serviço (QoS – Quality of Service). Onde a qualidade de serviço significa prover um serviço a um usuário que coincida com as expectativas dele, não é oferecer o serviço perfeito. Portanto, o protocolo IP ainda não fornece mecanismos que garantam parâmetros como atraso, variação do atraso, taxa de perdas de pacotes e largura de banda, que são questões imprescindível para a qualidade de serviço.

2.1.2 Endereçamento IP

Na internet cada host e cada roteador possui um endereço IP, exclusivo, que codifica seu número de rede e número de host. Todos os endereços IP têm 32-bits e são usados nos campos Endereço IP Origem/Destino.

A cada host de uma interligação em redes TCP/IP é atribuído um endereço de interligação em redes único de 32 bits que é usado em todas as comunicações com aquele host.

Os bits dos endereços IP para todos os *hosts* de uma rede dada compartilham um mesmo prefixo. Conceitualmente, cada endereço é um par (*netid*, *hostid*) em que *netid* identifica uma rede e *hostid* identifica um *host* naquela rede. Na prática, cada endereço IP deve ter uma das três primeiras formas mostradas na figura 7. Dado um endereço IP, seu tipo pode ser determinado a partir de três bits de alta ordem, sendo dois bits suficientes para distinguir entre as três classes principais:

- Endereços do tipo A, são usados pelas numerosas redes que não possuem mais de 216 (ou seja, 65.536) *hosts*, dedicam sete bits para *netid* e 24 bits para *hostid*. Todos endereços IP da classe A iniciam com o bit 0.
- Endereços do tipo B, que são usados para redes de tamanho médio que possuem entre 28 (ou 256) e 216 *hosts*, alocam 14 bits para o *netid* e 16 bits para o *hostid*. Todos endereços IP da classe A iniciam com os bits 10.
- Endereços do tipo C, que possuem menos de 28 *hosts*, alocam 21 bits para o *netid* e somente 8 bits para *hostid*. Todos endereços IP da classe A iniciam com os bits 110.
- Endereços do tipo D, são usados para endereçamento *multicast*.

O endereço IP foi definido de tal modo que é possível extrair as partes do *netid* ou do *hostid* rapidamente. Os roteadores, que usam a parte *netid* de um endereço ao decidir qual o destino de um pacote, dependem de uma extração eficiente para alcançar velocidade alta.

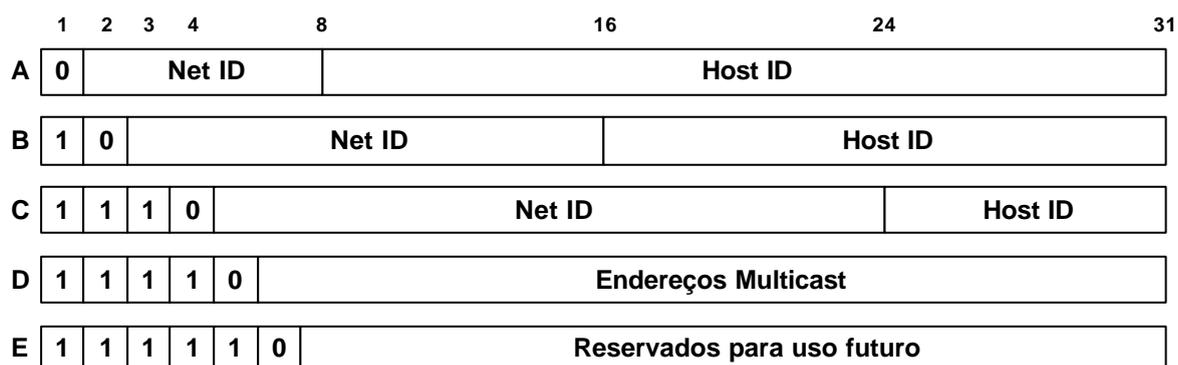


Figura 7. As cinco formas de endereços IP.[SOA 95]

2.1.3 O Roteamento e Seus Componentes

O roteamento é a principal forma utilizada na Internet para a entrega de pacotes de dados entre *hosts* (equipamentos de rede de uma forma geral, incluindo computadores, roteadores etc.). O modelo de roteamento utilizado é o do salto-por-salto

(*hop-by-hop*), onde cada roteador que recebe um pacote de dados, abre-o, verifica o endereço de destino no cabeçalho IP, calcula o próximo salto que vai deixar o pacote um passo mais próximo de seu destino e entrega o pacote neste próximo salto. Este processo se repete e assim segue até a entrega do pacote ao seu destinatário. No entanto, para que este funcione, são necessários dois elementos: tabelas de roteamento e protocolos de roteamento.

2.1.4 Tabelas de roteamento

As tabelas de roteamento são registros de endereços de destino associados ao número de saltos até ele, podendo conter várias outras informações.

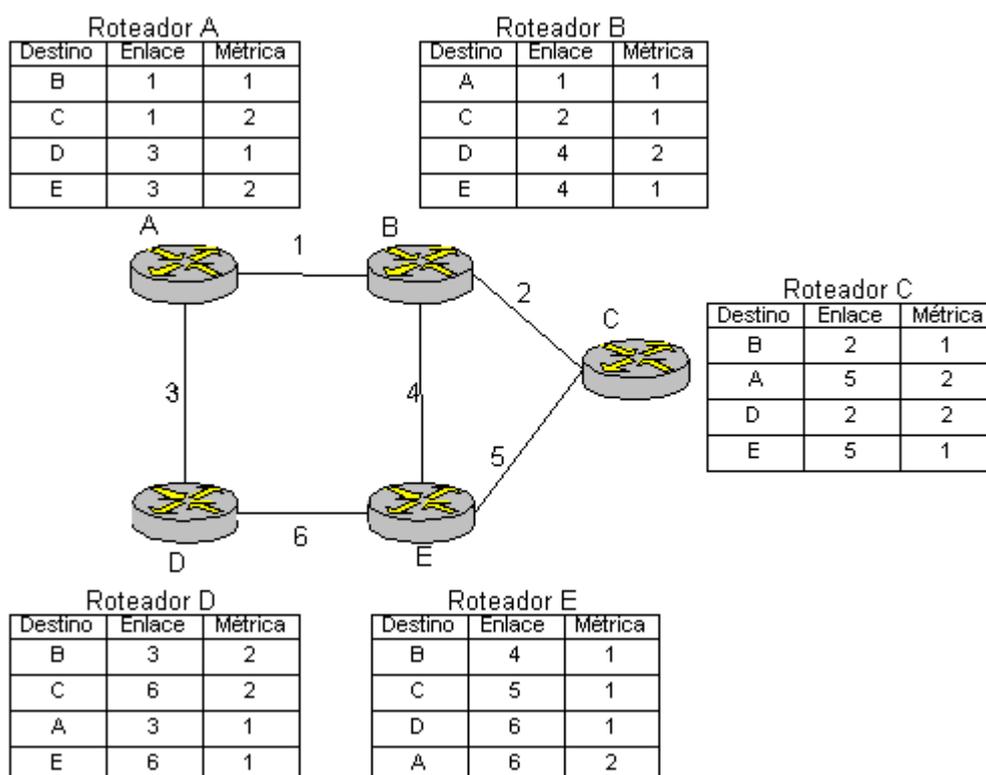


Figura 8. Tabelas de Roteamento [BRI 96]

É importante entender que a tabela de roteamento (figura 8) sempre aponta aos *gateways* que podem ser alcançados através da rede a qual esse *gateway* está conectado. Isso significa que todos os *gateways* listados na tabela de roteamento de uma máquina M devem conectar-se as redes às quais M está conectada diretamente. Quando um datagrama está pronto para sair de M, o software IP localiza o endereço IP destino e extrai a porção da rede. Logo M usa a identificação da rede para fazer uma decisão de roteamento, selecionando um *gateway* que possa ser alcançado diretamente.

Tanto os hosts como roteadores têm tabelas de roteamento. Quando o software de roteamento IP num host ou roteador necessita transmitir um datagrama, ele consulta a tabela de roteamento para decidir onde enviar o datagrama.

Nas tabelas de roteamento não é possível armazenar as informações de cada máquina destino, seria impossível manter as tabelas atualizadas, além de que as máquinas teriam problemas com armazenamento para toda a informação.

2.1.5 Protocolos de Roteamento

Protocolos de roteamento determinam o conteúdo das tabelas de roteamento, ou seja, são eles que ditam a forma como a tabela é montada e de quais informações ela é composta. Existem dois tipos de algoritmo atualmente em uso pelos protocolos de roteamento:

- Baseado em Vetor de Distância (*Distance-Vector Routing Protocols*)

Os roteadores que utilizam o algoritmo de vetor de distância anunciam a sua presença a outros roteadores da rede. Periodicamente, cada roteador da rede enviará as informações da sua tabela de roteamento. Essas informações podem ser usadas por outros roteadores para que eles mesmos atualizem suas tabelas.

O roteamento de vetor de distância é um algoritmo eficiente, mas pode ser igualmente ineficiente. Como as alterações devem passar pela rede de roteador para roteador, pode ser que demore para uma alteração tornar-se conhecida por todos os roteadores da rede. Além disso, os freqüentes *broadcasts* de informações de roteamento produzem altos níveis de tráfego na rede, podendo prejudicar o desempenho em redes maiores.

- Baseado no Estado de Enlace (*Link State Routing Protocols*).

O roteamento do estado de link reduz o tráfego de rede necessário para atualizar tabelas de roteamento. Os roteadores recém conectados à rede podem solicitar informações de roteamento em um roteador mais próximo. Depois que os roteadores tiverem trocado as informações de roteamento sobre a rede, eles só enviarão o *broadcast* de mensagens quando houver alguma mudança. Essas mensagens contêm informações sobre o estado de cada *link* que o roteador possui com outros roteadores da rede. Como os

roteadores mantêm-se atualizados, raramente é necessário realizar atualização de roteamento na rede.

A Internet é uma coleção de redes interconectadas, e os pontos de ligação são os roteadores (também conhecidos como *gateways*). Estes, por sua vez, estão organizados de forma hierárquica, onde alguns roteadores são utilizados apenas para trocar dados entre grupos de redes controlados pela mesma autoridade administrativa; enquanto outros roteadores fazem também a comunicação entre as autoridades administrativas. A entidade que controla e administra um grupo de redes e roteadores chama-se Sistema Autônomo [RFC 1930].

. Os roteadores usados dentro de um sistema autônomo são chamados de Roteadores Internos e eles usam uma variedade de Protocolos de Roteamento Internos para se comunicarem. Os roteadores que movem informações entre sistemas autônomos são chamados de Roteadores Externos, e eles usam os Protocolos de Roteamento Externo para trocarem informações. Esta arquitetura é mostrada na figura 9.

Os protocolos de roteamento usados nas redes internas são conhecidos por IGP (*Interior Gateway Protocols*), e os protocolos usados nas redes externas são conhecidos por EGP (*Exterior Gateway Protocols*) ou BGP (*Border Gateway Protocol*).

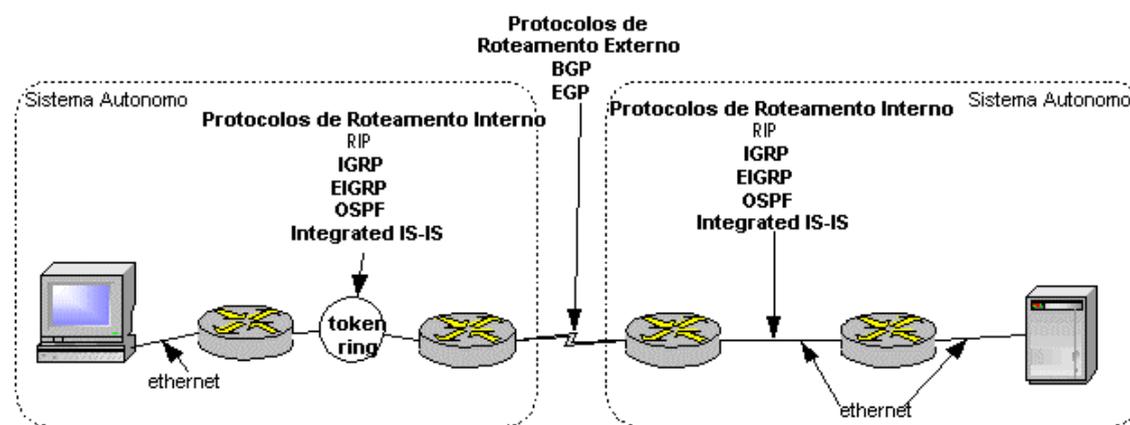


Figura 9. Representação da Arquitetura Internet [BRI 96]

2.1.6 Protocolos de Roteamento Interno

Os roteadores utilizados para trocar informações dentro de Sistemas Autônomos são chamados roteadores internos (*interior routers*) e podem utilizar uma variedade de protocolos de roteamento interno (*Interior Gateway Protocols - IGPs*). Dentre eles estão: RIP, IGRP, EIGRP, OSPF e Integrated IS-IS.

2.1.6.1 RIP

O RIP (*Routing Information Protocol*) [RFC 1058] foi desenvolvido pela Xerox Corporation no início dos anos 80 para ser utilizado nas redes Xerox Network Systems (XNS), e, hoje em dia, é o protocolo intra-domínio mais comum, sendo suportado por praticamente todos os fabricantes de roteadores e disponível na grande maioria das versões mais atuais do sistema operacional UNIX.

Um de seus benefícios é a facilidade de configuração. Além disso, seu algoritmo não necessita grande poder de computação e capacidade de memória em roteadores ou computadores.

O protocolo RIP funciona bem em pequenos ambientes, porém apresenta sérias limitações quando utilizado em redes grandes. Ele limita o número de saltos (hops) entre hosts a 15 (16 é considerado infinito). Outra deficiência do RIP é a lenta convergência, ou seja, leva relativamente muito tempo para que alterações na rede fiquem sendo conhecidas por todos os roteadores. Esta lentidão pode causar loops de roteamento, por causa da falta de sincronia nas informações dos roteadores.

O protocolo RIP é também um grande consumidor de largura de banda, pois, a cada 30 segundos, ele faz um broadcast de sua tabela de roteamento, com informações sobre as redes e sub-redes que alcança.

Por fim, o RIP determina o melhor caminho entre dois pontos, levando em conta somente o número de saltos (hops) entre eles. Esta técnica ignora outros fatores que fazem diferença nas linhas entre os dois pontos, como: velocidade, utilização das mesmas (tráfego) e toda as outras métricas que podem fazer diferença na hora de se determinar o melhor caminho entre dois pontos.

2.1.6.2 IGRP

O IGRP (*Interior Gateway Protocol*) também foi criado no início dos anos 80 pela Cisco Systems Inc., detentora de sua patente. O IGRP resolveu grande parte dos problemas associados ao uso do RIP para roteamento interno.

O algoritmo utilizado pelo IGRP determina o melhor caminho entre dois pontos dentro de uma rede examinando a largura de banda e o atraso das redes entre roteadores. O IGRP converge mais rapidamente que o RIP, evitando loops de roteamento, e não tem a limitação de saltos entre roteadores.

Com estas características, o IGRP viabilizou a implementação de redes grandes, complexas e com diversas topologias.

2.1.6.3 EIGRP

A Cisco aprimorou ainda mais o protocolo IGRP para suportar redes grandes, complexas e críticas, e criou o *Enhanced IGRP*.

O EIGRP combina protocolos de roteamento baseados em Vetor de Distância (*Distance-Vector Routing Protocols*) com os mais recentes protocolos baseados no algoritmo de Estado de Enlace (*Link-State*). Ele também proporciona economia de tráfego por limitar a troca de informações de roteamento àquelas que foram alteradas.

Uma desvantagem do EIGRP, assim como do IGRP, é que ambos são de propriedade da Cisco Systems, não sendo amplamente disponíveis fora dos equipamentos deste fabricante.[BRI 96]

2.1.6.4 OSPF

O protocolo OSPF (*Open Shortest Path First*) [RFC 1583] foi desenvolvido pelo IETF (*Internet Engineering Task Force*) como substituto para o protocolo RIP. Caracteriza-se por ser um protocolo intra-domínio, hierárquico, baseado no algoritmo de Estado de Enlace (*Link-State*) e foi especificamente projetado para operar com redes grandes. Outras características do protocolo OSPF são:

- A inclusão de roteamento por tipo de serviço (*TOS - type of service routing*). Por exemplo, um acesso FTP poderia ser feito por um *link* de satélite, enquanto que um acesso a terminal poderia evitar este *link*, que tem grande tempo de retardo, e ser feito através de um outro enlace;
- fornecimento de balanceamento de carga, que permite ao administrador especificar múltiplas rotas com o mesmo custo para um mesmo destino. O OSPF distribui o tráfego igualmente por todas as rotas;
- suporte à rotas para hosts, sub-redes e redes específicas;
- A possibilidade de configuração de uma topologia virtual de rede, independente da topologia das conexões físicas. Por exemplo, um administrador pode configurar um *link* virtual entre dois roteadores mesmo que a conexão física entre eles passe através de uma outra rede;

- A utilização de pequenos *'hello packets'* para verificar a operação dos links sem ter que transferir grandes tabelas. Em redes estáveis, as maiores atualizações ocorrem uma vez a cada 30 minutos.

O protocolo ainda especifica que todas os anúncios entre roteadores sejam autenticados (isto não quer dizer que necessariamente reflita a realidade das implementações). Permite mais de uma variedade de esquema de autenticação e que diferentes áreas de roteamento utilizem esquemas diferentes de autenticação.

Duas desvantagens deste protocolo são a sua complexidade, e maior necessidade por memória e poder computacional, característica inerente aos protocolos que usam o algoritmo de Estado de Enlace (*Link-State*).

O OSPF suporta, ainda, roteamento hierárquico de dois níveis dentro de um Sistema Autônomo, possibilitando a divisão do mesmo em áreas de roteamento. Uma área de roteamento é tipicamente uma coleção de uma ou mais sub-redes intimamente relacionadas. Todas as áreas de roteamento precisam estar conectadas ao backbone do Sistema Autônomo, no caso, a Área 0. Se o tráfego precisar viajar entre duas áreas, os pacotes são primeiramente roteados para a Área 0 (o *backbone*). Isto pode não ser bom, uma vez que não há roteamento inter-áreas enquanto os pacotes não alcançam o *backbone*.

Chegando à Área 0, os pacotes são roteados para a Área de Destino, que é responsável pela entrega final. Esta hierarquia permite a consolidação dos endereços por área, reduzindo o tamanho das tabelas de roteamento. Redes pequenas, no entanto, podem operar utilizando uma única área OSPF.

2.1.6.5 Integrated IS-IS

O IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System Routing Exchange Protocol*) [OSI 10589], assim como o OSPF, é um protocolo intra-domínio, hierárquico e que utiliza o algoritmo de Estado de Enlace. Pode trabalhar sobre várias sub-redes, inclusive fazendo *broadcasting* para LANs, WANs e links ponto-a-ponto.

O Integrated IS-IS é uma implementação do IS-IS que, além dos protocolos OSI, atualmente também suporta o IP. Como outros protocolos integrados de roteamento, o IS-IS convoca todos os roteadores a utilizar um único algoritmo de roteamento.

Para rodar o Integrated IS-IS, os roteadores também precisam suportar protocolos como ARP, ICMP e End System-to-Intermediate System (ES-IS).

2.1.7 Protocolo de Roteamento Externo

Roteadores que trocam dados entre Sistemas Autônomos são chamados de roteadores externos (*exterior routers*), e estes utilizam o *Exterior Gateway Protocol* (EGP) ou o BGP (*Border Gateway Protocol*). Para este tipo de roteamento são considerados basicamente coleções de prefixos CIDR (*Classless Inter Domain Routing*) identificados pelo número de um Sistema Autônomo.

2.1.7.1 BGP

O BGP (*Border Gateway Protocol*) [RFCs 1771,1772,1773,1774,1657] assim como o EGP, é um protocolo de roteamento inter-domínios, criado para uso nos roteadores principais da Internet.

O BGP foi projetado para evitar *loops* de roteamento em topologias arbitrárias, o mais sério problema de seu antecessor, o EGP (*Exterior Gateway Protocol*). Outro problema que o EGP não resolve - e é abordado pelo BGP - é o do Roteamento Baseado em Política (*policy-based routing*), um roteamento com base em um conjunto de regras não-técnicas, definidas pelos Sistemas Autônomos.

A última versão do BGP, o BGP4, foi projetado para suportar os problemas causados pelo grande crescimento da Internet.

2.1.8 Qualidade de serviço em redes IP

O protocolo TCP/IP original foi baseado na idéia de igualdade no acesso e sem tratamento especial para qualquer nó ou serviço. Com exceção dos nós fins da comunicação, nenhuma informação de estado da conexão era mantida em qualquer lugar da rede. As redes IP suportavam apenas uma classe de serviço: a do melhor esforço (*best effort*), não dispondo de nenhuma garantia de qualidade de serviço. Atualmente verificamos algumas iniciativas de modificação do protocolo IP de forma a dotá-lo de garantia de QoS, ou pelo menos otimizar certos parâmetros. Abordaremos a seguir os conceitos de melhor esforço, serviços integrados e serviços diferenciados

2.1.8.1 Melhor esforço

Até recentemente, redes IP suportavam apenas uma classe de serviço: a do melhor esforço (*best effort*). A rede desenvolvia o melhor procedimento para entregar

pacotes para seu destino mas sem garantias e sem recursos especiais reservados para qualquer dos pacotes.

Depois, o trabalho interno dos roteadores usavam um política de transmissão de pacotes do tipo FIFO (*First In, First Out*). Se o roteador recebesse mais pacotes do que pode manipular os pacotes mais novos são descartados.

2.1.8.2 Serviços Integrados

Desenvolvida pelo grupo de trabalho *Integrated Services* do IETF e consiste basicamente da definição de uma arquitetura de integração de serviços, chamada arquitetura IIS (*Internet Integrated Services*). O ponto mais importante deste trabalho é a reserva de largura de banda para atender aos requisitos de QoS de um determinado fluxo. Esta reserva é feita nos nós da rede, roteadores, *gateways* e outros elementos de rede, utilizando de protocolo específico para isto. Esta solução padrão existente hoje para a QoS é o *Resource Reservation Protocol* (RSVP), presente na maioria dos roteadores atuais. Um cliente RSVP pode reservar uma quantidade adequada de largura de banda para tráfego de voz e prover um fluxo de baixo atraso para os pacotes de voz. Enquanto isto somente é aplicável para os roteadores controlados diretamente, RSVP é também provido da habilidade de comunicar a reserva para outros roteadores.

Esta abordagem implica em manter o estado de cada fluxo pelos roteadores, o que significa uma grande quantidade de estados nos roteadores do "núcleo" (*core*) da rede que transportam um número muito elevado de fluxos. Estes estados e o processamento a eles associado acarretam uma sobrecarga destes roteadores, que passam a ser um gargalo do desempenho. Os problemas de escalabilidade encontrados na arquitetura IIS levaram ao estudo de soluções mais simples e eficientes para a implantação de QoS na Internet.

2.1.8.3 Serviços diferenciados

A segunda abordagem, desenvolvida pelo grupo de trabalho *Differentiated Services* do IETF, busca prover a diferenciação de serviços na Internet, sem a necessidade de um estado para cada fluxo e de sinalização a cada nó, aumentando sua escalabilidade. Assim, esta solução pode ser usada nos roteadores do núcleo da rede. A idéia básica desta proposta é renomear o campo ToS (*Type of Service – RFC791, RFC1122 e RFC1349*) do cabeçalho IP (figura 10), denominando-o de DS

(*Differentiated Service- RFC2474*) e a partir da análise deste campo, prover diferentes tratamentos aos pacotes de cada fluxo transportados pela rede .

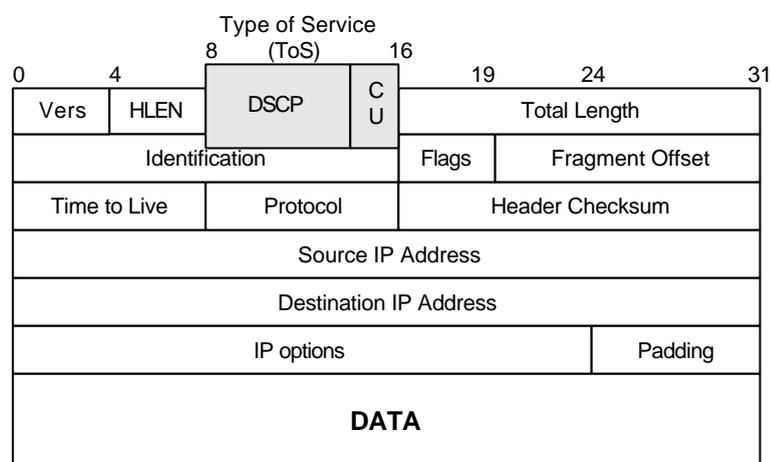


Figura 10. Datagrama IP para *Differentiated Services* do IETF [CER 97]

Este novo campo é utilizado como referência para a prioridade de transporte nas filas de transmissão. Políticas de escalonamento com prioridades são utilizadas visando a manutenção da qualidade dos serviços que necessitam de certos parâmetros de acordo com o conteúdo do campo DS.

	Melhor Esforço	Serviços Diferenciados	Serviços Integrados
Isolamento	sem	agregado	Por sessão
Garantia de serviço	sem	agregada	Por sessão
Sinalização	sem	Duradoura dentro de um domínio	Fim-a-fim por sessão

Tabela 2. Comparação entre as três abordagens [ROC 98]

A tabela 2 compara as três abordagens. A primeira é a convencional política do melhor esforço que não tem garantia de QoS. Como política intermediária, temos a política de serviços diferenciados, com suas características e finalmente a política de serviços integrados, com suas características.

2.2 Conceitos básicos da tecnologia ATM

A tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) introduz conceitos inteiramente novos e diferentes daqueles visualizado em redes de pacotes tipo Ethernet. ATM é uma tecnologia que através da multiplexação e comutação realiza o transporte de pacotes de tamanho pequeno e fixo, denominados células. A tecnologia ATM é freqüentemente usada para fornecer da alta vazão, um requisito essencial das redes modernas [OLI 00]. As previsões são que as futuras redes de alta velocidade utilizarão a tecnologia ATM. Uma motivação básica e bastante importante para o uso do ATM é o fato desta tecnologia implementar QoS (*Quality of Service* - Qualidade de Serviço). Abordaremos os seguintes conceitos : célula, endereçamento , circuitos virtuais, protocolos de interfaces de rede e QoS.

2.2.1 Célula ATM

De acordo com o modelo de referência *Open Systems Interconnection* – OSI para interconexão de sistemas abertos de redes, na camada de rede (3) as Unidades de Informação – UI são chamadas “pacotes” (*packets*) e na camada de enlace (2) de “quadros” (*frames*). Como exemplos podemos citar quadros Ethernet, Token Ring e Frame Relay e pacotes IP e IPX. Normalmente existe uma relação 1:1 entre eles, ou seja, um pacote IP normalmente é transportado por um quadro Ethernet, por exemplo.

Falando de uma maneira geral, as UI que circulam pelas redes possuem duas características básicas: i. tamanho variável para adaptar eficientemente a quantidade de dados a ser transmitida e ii. tamanho máximo muito grande, tipicamente maior que 1k.

A principal dificuldade em tratar pacotes e quadros está no fato do tamanho ser variável. A idéia de trabalhar com UI de tamanhos fixos, chamadas de “células” é atraente pois os equipamentos usados para juntar ou compartilhar fluxos de informação, chamados multiplexadores, possuem uma eletrônica capaz de manipular células com facilidade e rapidez.

Sendo assim, a questão está em definir o tamanho desta célula, e este foi um dos principais temas de discussão em meados dos anos 80, particularmente pela *International Telegraph and Telephone Consultative Committee* – CCITT. Cada célula deve conter duas partes: um cabeçalho (*cell header*) que caracterize a origem, o destino e demais parametros relevantes e uma segunda parte contendo os dados propriamente

dito (*payload*). Para o usuário da rede este cabeçalho pode ser considerado um *overhead* e deve ser minimizado. Pensando em quadros Ethernet, foi sugerido um tamanho de 1500 bytes para *payload*. Células deste tamanho levariam cerca de 12ms para percorrer uma rede de 1Mb/s. Para dados isto não seria problemas, porém se a informação fosse áudio inviabilizaria sua compreensão pelo usuário destino.

A idéia básica seriam células de tamanho reduzido, que dentre outras vantagens, evitaria o típico eco encontrado em transmissões de telefonia. Foram sugeridos dois tamanhos: os europeus propuseram 4+32 bytes enquanto os americanos 5+64 bytes de *header* e *payload* respectivamente. Curiosamente e sem uma explicação tecnicamente razoável, foi escolhido um tamanho intermediário: 5+48 bytes, o que nos leva a famosa célula de 53 bytes, número primo e sem nenhuma relação com a estrutura de registros das CPUs, que foi definida em 1988.

Após esta breve história, podemos concluir que uma característica do ATM é o uso de células de comprimento fixo ao invés de pacotes de tamanho variável utilizado pela tecnologia Ethernet. A célula ATM é composta de 53 bytes, sendo 5 destinados ao cabeçalho (*header*) e 48 aos dados (*payload*). Em mensagens longas, várias células são enviadas e quando os dados forem menores que 48, em geral na última célula, o restante é preenchido com caracteres espúrios.

A principal vantagem da utilização de células de tamanho fixo está na redução da variação do atraso, tornando a rede adequada à integração de tráfego de voz, vídeo e dados, além de permitir a comutação rápida por hardware baseados em comutação (*switches*), quando comparado à quadros de tamanhos variáveis. A desvantagem está na maior quantidade de cabeçalhos acarretando um enorme gargalo (*overhead*) no meio de transmissão chamado de “*cell tax*”. Em conexões de alta velocidade isto é pouco relevante, ao contrário de circuitos mais lentos como 56-64kb/s ou DS-1 e E1. A figura 11 mostra um desenho de uma célula ATM

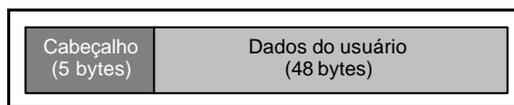


Figura 11. Célula ATM

2.2.2 Endereçamento ATM

O esquema definido pelo Forum ATM para endereçamento de *endpoints switches* em uma rede ATM particular foi modelado depois de definido pela OSI *Network Service Access Point – NSAP* e especificado em ISO-8348 (CCITT X.213). A figura 12 ilustra os 3 formatos existentes de endereçamento ATM:); cujo primeiro byte é 39, 45 e 47, respectivamente.

1. DCC (*Data Country code*)
2. E.164 (*Specific Integrated Service Digital Network Number*)
3. ICD (*International Code Designator*)

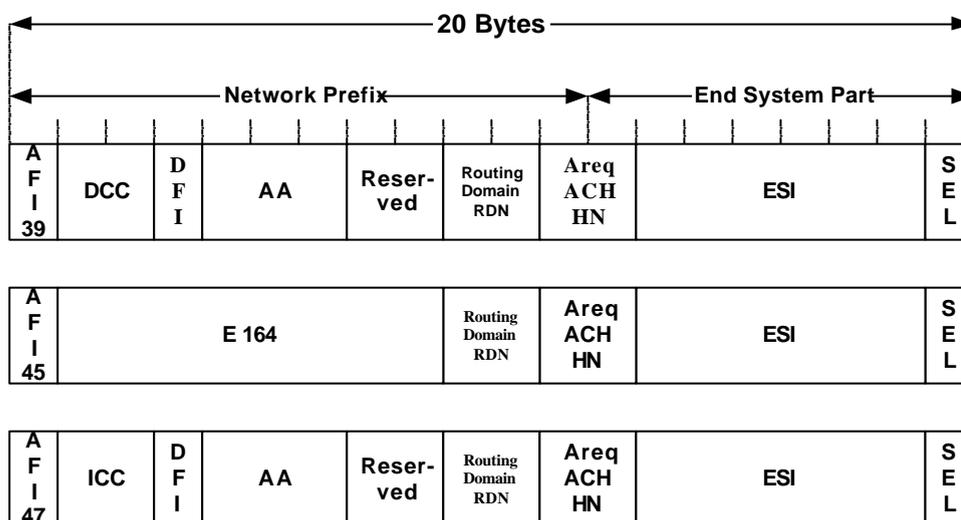


Figura 12. Formatos de endereçamentos ATM [ROE 98]

Estes formatos são constituídos por 20 bytes que são divididos em duas seções: Prefixo de Rede com 13 bytes e *End System Part* – ESI com 7 bytes.

O endereço ATM só é usado durante uma requisição *Switched Virtual Channel Call Setup* que basicamente é o processo que estabelece uma conexão (*Virtual Channel Connection – VCC*). Uma vez estabelecida a conexão, um par VPI/VCI será atribuído à conexão, e este par estará presente no cabeçalho de cada célula que tráfegará na conexão e não mais será utilizado o endereço de 20 bytes.

É importante destacar, que os endereços ATM são utilizados somente na fase de definição dos Circuitos Virtuais e então não mais representados nas células, que passam a ser roteadas através dos VPIs e VCIs, que abordaremos em seguida.

2.2.3 Circuitos Virtuais

A palavra circuito é utilizada em eletrônica para representar caminhos contínuos por onde circulam diferentes correntes elétricas entre os diversos componentes. Circuitos Virtuais (*Virtual Circuits – VC*) no contexto de redes significa caminhos contínuos onde circulam os diversos fluxos de dados. Quando um destes fluxos existem em um VC, uma conexão está em andamento. Em redes do tipo Ethernet e Token Ring este conceito não é utilizado apesar de apresentar as seguintes vantagens:

- As características do VC são definidas antes do seu estabelecimento;
- Pode ser atribuído ao VC uma largura de banda fixa ou pelo menos um mínimo;
- A utilização de VCs para fluxo de dados otimizam a utilização de *buffers*. VCs simplificam o processo de construção de comutadores rápidos. VCs são criados para conexão entre comutadores e assim as células do fluxo entre eles são identificadas por números. O processo de chaveamento realizado pelo equipamento fica assim facilitado se baseado nestes números que caracterizam cada VC.

O conceito de VC é uma das principais diferenças entre as tecnologias ATM e Ethernet. Os VCs podem ser definidos dinamicamente, *Switched Virtual Circuits – SVCs*, ou definidos pelo administrador de rede e conectados todo o tempo, *Permanent Virtual Circuits – PVCs*.

Uma rede ATM é fundamentalmente orientada a conexão. Isto significa que uma conexão virtual necessariamente deve ser estar estabelecida através da rede ATM antes de qualquer transferência de dados. A tecnologia ATM oferece dois tipos de conexão de transporte que se completam: *Virtual Path – VP* e *Virtual Channels – VC*. Um VC é um acesso unidirecional feito da concatenação de uma sequência de elementos de conexão. Um VP consiste de um grupo destes canais (figura 13). Sendo assim, para cada VP existem vários VCs.

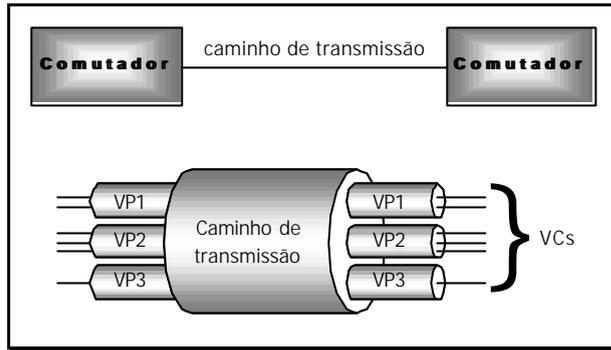


Figura 13. Canal Virtual (VC) e Caminho Virtual (VP)[BRI 96]

Cada VP e VC possui um identificador associado, VPI e VCI, respectivamente. Cada conexão virtual em um único caminho (VP), possui distintos VCIs, porém o mesmo VCI pode vir a ser usado em um outro VP.

Cada célula ATM possui no cabeçalho um campo para VPI (8 bits) e outro para VCI (16 bits). Este endereçamento identifica de forma única uma conexão virtual em uma interface física, ou seja, é uma ligação individual em um caminho de transmissão específico e só tem significado local em um comutador. Em outras palavras, cada cabeçalho de célula possui campos VPI e VCI que explicitamente associam a célula com um canal virtual em uma conexão física.

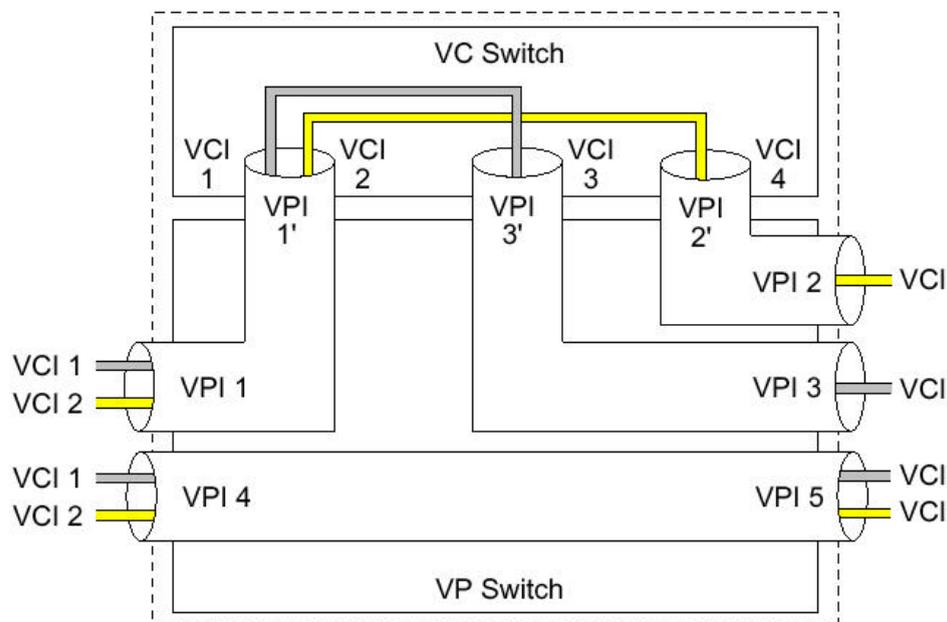


Figura 14. Comutação de Caminhos Virtuais e Circuitos Virtuais[BRI 96]

Na figura 14 , a parte inferior mostra a comutação apenas de VPs, mantendo os mesmos VCs. Já na parte superior, observa-se o chaveamento de VPs e VCs quando for desejável para manutenção dos parâmetros de QoS.

2.2.4 Protocolos de Roteamento ATM

Quando uma rede ATM é projetada, vários tipos de conexões são previstas entre um ou mais subsistemas ATM. Estes subsistemas constituintes de uma rede ATM, são interconexões que envolvem redes locais, redes particulares ou ainda, redes públicas. Estas conexões envolvendo dois ou mais dispositivos ATM definem interfaces/protocolos que são de vários tipos, sendo os mais tradicionais UNI, SSI, NNI, IISP e mais recentemente PNNI que engloba vários deles.

Uma rede ATM consiste de um conjunto de comutadores (*switches*) ATM interconectados por ligações ATM ponto a ponto, mostrado na figura 15. Estes comutadores suportam dois tipos primários de interfaces: UNI e NNI. A interface UNI conecta sistemas ATM de ponta ou borda, tais como *hosts* e roteadores, à um comutador ATM. A interface NNI conecta dois comutadores ATM.

As interfaces UNI e NNI podem, ambas, serem subdivididas em particular ou pública. Um interface UNI particular/pública conecta um *host* à um comutador de uma rede particular/pública, respectivamente. O mesmo se aplica à interface NNI: particular/pública se a conexão for entre comutadores de uma mesma rede organizacional particular/pública, respectivamente.

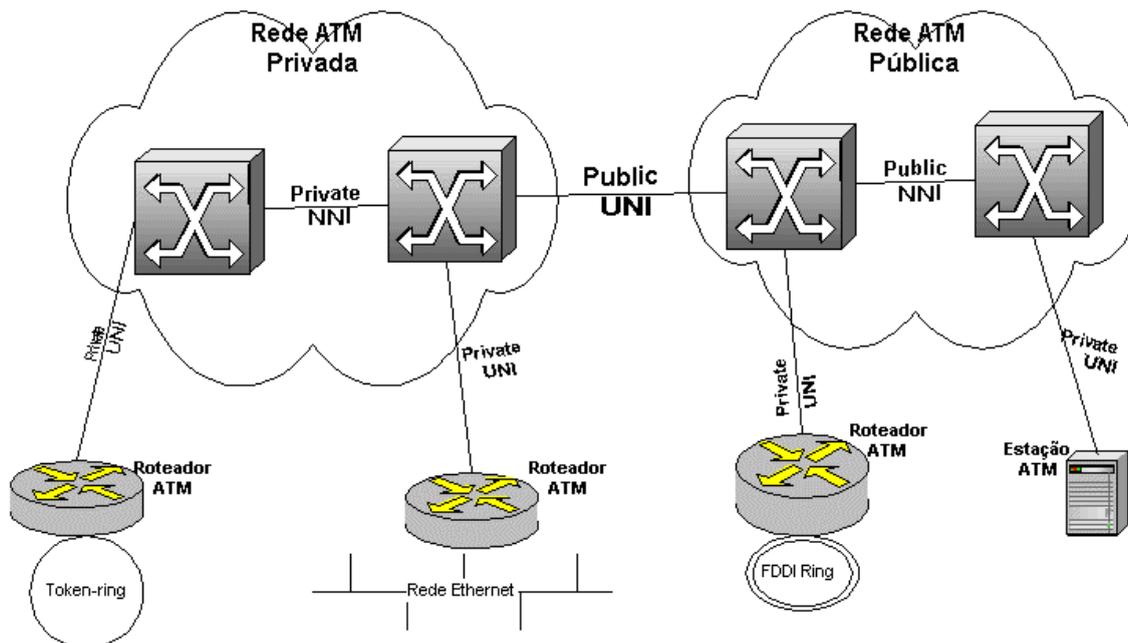


Figura 15. Protocolos de roteamento ATM

2.2.4.1 Protocolos Entre Dispositivos e Computadores

User to Network Interface - UNI define uma série de protocolos que operam entre dispositivos de ponta ATM (estações, servidores ou *switches* Ethernet) e um *switch* ATM. Esta interface é baseada no modelo de sinalização, padrão ITU Q.2931. A interface UNI depende fortemente da estrutura de circuitos virtuais ATM implementada através de VCIs e VPIs.

O protocolo UNI 3.0 e 3.1 são muito utilizados atualmente; a versão UNI 4.0 irá adicionar várias melhoramentos, incluindo suporte para *Available Bit Rate* – ABR, que trará um grande avanço no controle de congestionamento e muito mais flexibilidade quando tratar com *multicast*.

2.2.4.2 Protocolos Entre Computadores

Interim Interswitch Signaling Protocol - IISP é um protocolo limitado que opera entre *switches* ATM e que usa conexões definidas estaticamente. Este protocolo foi suscedido pelo protocolo *Private Network Node Interface* - PNNI. É comum o protocolo IISP ser referenciado como “PNNI fase 0”.

Na figura 16, observamos as duas situações em que a conexão PNNI se aplica: *Private Network-Node Interface* (superior) e *Private Network-Network Interface* (inferior). Observe que apesar da interconexão ser entre computadores e a sigla ser a mesma, a função operacional não é a mesma.

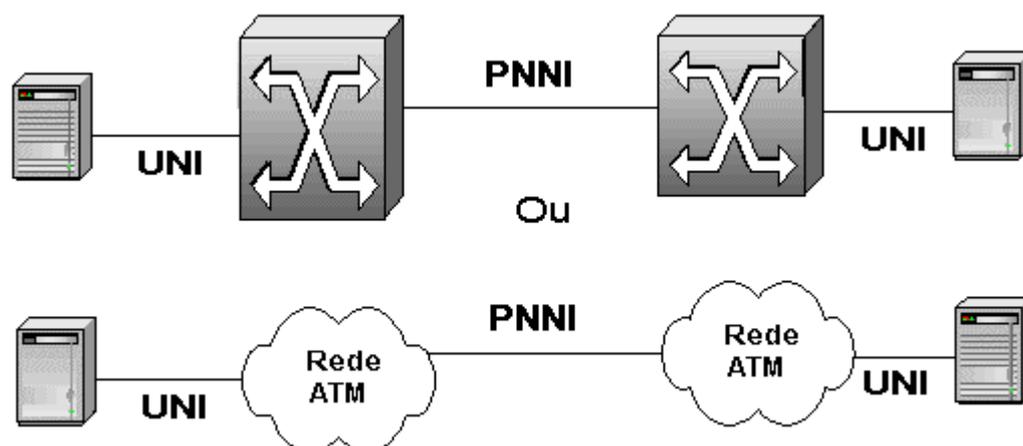


Figura 16. Protocolos entre computadores[BRI 96]

2.2.5 Qualidade de Serviço em redes ATM

O conceito de qualidade de serviço, relacionada com redes de comunicação, deriva do fato que nem todas as aplicações transmitidas em uma rede, possuem os mesmos requisitos de desempenho [GUA 00]. Assim, cada aplicação, antes de iniciar uma transmissão, pode indicar quais os parâmetros de qualidade que atendem às suas necessidades. Os parâmetros utilizados vão variar de acordo com a aplicação. Alguns mais importantes podem ser citados: largura de banda necessária, taxa de erros permitida, atraso ou retardo (*delay*) na transferência dos pacotes permitido e variação do atraso (*jitter*) permitido. [MAR 99]

Uma dada aplicação pode caracterizar um determinado parâmetro como crítico e fazer exigências a seu respeito. Por outro lado, pode não utilizar outro parâmetro em suas requisições à rede. Aplicação e rede devem entrar em acordo para definir a qualidade de serviço a ser provida em uma transmissão. A aplicação requisita os valores de QoS e a rede verifica quais valores podem ser satisfeitos. Essa função é definida pela negociação de QoS.

A opção por células de tamanho fixo foi principalmente devido, primeiro à necessidade e depois à habilidade intrínseca dos equipamentos de rede de suportar voz e vídeo em tempo real. Estes serviços requerem um compromisso com a qualidade,

caracterizada por parâmetros descritos a seguir, que normalmente não são necessários no tráfego usual de dados de aplicações do tipo banco de dados, por exemplo. Abaixo, são abordadas algumas características da QoS: Atraso de Trânsito, Variação de atraso e Classes de Serviços.

2.2.5.1 Atraso de Trânsito

Qualquer pessoa pode observar facilmente a latência (atraso no diálogo) existente em ligações telefônicas intercontinentais que envolvam satélite. Existem duas componentes da latência: atraso devido a serialização e atraso devido ao processamento. Células pequenas minimizam o primeiro tipo de atraso devido a fluxo rápido dentro do comutador. Hardwares baseados em chaveamentos minimizam o segundo atraso.

2.2.5.2 Variação do Atraso

Esta é mais uma das características que devem ser controladas em alguns tipos de tráfego. Um exemplo é o tráfego de voz em tempo real que na realidade precisa de pouca largura de banda, porém o atraso entre as células deve variar muito pouco para que tenhamos a qualidade da audibilidade alta. Este tipo de necessidade é um dos principais fatores de diferenciação da tecnologia ATM.

Dentro do âmbito do vídeo, a mesma necessidade ocorre apesar de ser menos relevante que no caso do áudio. De qualquer maneira, mesmo em vídeos gravados a garantia de continuidade leva a uma qualidade superior viabilizando assim serviços de treinamento/ensino a distância, telemedicina, etc, que não são viáveis com a tecnologia Ethernet.

2.2.5.3 Classes de Serviços

O padrão ATM define várias Classes de Serviços baseadas em vários parâmetros dos quais falaremos brevemente de alguns.

- CBR (*Constant Bit Rate*) – emula um *bit rate* fixo, que leva a um circuito de multiplexação de divisão do tempo, com a frequência e fase mantidos ponto a ponto. Ex.: transporte de voz 64kb/s PCM.
- rt-VBR (*Real Time Variable Bit Rate*) – a frequência pode variar porém o máximo atraso e a máxima variação do atraso entre as células é garantido. Ex.: videoconferência em tempo real.

- nrt-VBR (*Non-Real Time Variable Bit Rate*) – aqui só o valor médio do atraso é especificado. Ex.: vídeo gravado.
- ABR (*Available Bit Rate*) – normalmente a rede tenta maximizar o *throughput*, assim o controle do tráfego é obtido através de uma taxa de controle de fluxo explícita. Ex.: estações de trabalho de borda com interface de rede ATM.
- UBR (*Unspecified Bit Rate*) – neste caso não há controle de congestionamento, cada dispositivo pode enviar informação quando desejar e quando houver acúmulo de tráfego, células podem ser colocadas em *buffers* ou até mesmo descartadas. Ex.: *switch* de rede com *uplinks* ATM.

2.3 Transmissão em rede

Quando se fala em transmissão em rede, existem três tipos a se considerar: as transmissões unicast, as transmissões broadcast e as transmissões multicast.

2.3.1 Transmissão *Unicast*

Uma transmissão unicast ocorre sempre que se estabelece uma ligação entre duas máquinas, ponto-a-ponto. São transmissões muito comuns dentro de qualquer rede, mas podem se tornar bastante onerosas a depender do tipo de tráfego necessário.

Em redes ATM as transmissões de endereços *unicast*, ocorrem sobre um VC ponto-a-ponto bidirecional entre a fonte e o destino

2.3.2 Transmissões *Broadcast*

As transmissões *broadcast*, bastante utilizadas em redes locais (*LANs*), ocorrem quando se estabelece uma ligação ponto-multiponto, em que todos os *hosts* da rede recebem os dados transmitidos simultaneamente.

A principal desvantagem do *broadcast* é que cada uma delas consome recursos em todas as máquinas. Entretanto, tal esquema seria dispendioso, já que todos os computadores da rede local receberiam e processariam todos os datagramas enviados naquela rede, mesmo que a maioria das máquinas se desfizesse da maior parte dos datagramas que chegassem. Desse modo os projetistas de TCP/IP usaram mecanismos

obrigatórios de endereço, como o ARP, para eliminar a difusão. O ATM é uma tecnologia nonbroadcast, de forma que é mais difícil de se fazer broadcast .

O processo de *broadcast* é conhecido por difusão e de uma evolução de seu conceito, chegamos à difusão seletiva, ou multicast.

2.3.3 Transmissões *Multicast*

As transmissões *multicast* ou difusão seletiva , ao invés de enviar dados para toda a rede de forma indiscriminada, os distribui apenas para as estações que demonstraram interesse de recebê-los. Apresentando assim uma forma muito mais econômica de utilizar os recursos da rede. O *Multicast IP* foi desenvolvido a partir do protocolo IP, com o objetivo de tornar possível a difusão seletiva entre redes de computadores [DEE 89].

É possível que as estações de um grupo sejam dispersados através de redes físicas separadas. A técnica de difusão seletiva é utilizada, por exemplo, quando várias aplicações multimídia necessitam distribuir fluxos para vários destinos, como na distribuição de áudio e vídeo em geral. É muito lento e dispendioso enviar uma cópia da informação para cada destino uma-a-uma. É lento, pois o acesso à rede e a transmissão tomam tempo. É dispendioso, pois a mesma informação pode ser transmitida sobre a mesma ligação de rede várias vezes. Uma solução é fazer com que a fonte envie apenas uma vez e a rede seja responsável pela transmissão do dado a múltiplos destinos.

Em função do ATM ser orientado a conexão, o *multicast* sobre ATM precisaria ser implementado de forma diferente da qual é feita nas redes *IP multicast*. Para estabelecer conexões ponto-multiponto, os hosts ATM precisariam criar várias conexões ponto-a-ponto, uma para cada máquina com a qual eles quisessem se conectar. Essa forma é muito mais complexa e difícil de gerenciar do que a do multicast sobre redes IP, mas aos poucos foram surgindo propostas para acrescentar essa capacidade ao ATM. Uma das tentativas de implementar o multicast sobre ATM é o *User Network Interface (UNI) 4.0* [ATM 94], do ATM Forum. No *UNI 3.0*, somente a raiz de uma transmissão multicast poderia acrescentar ou expulsar membros de um grupo [ATM 96b]. Mas isso foi mudado com *UNI 4.0*, que tem o objetivo, dentre outras coisas, de implementar um suporte eficiente ao multicast em ATM. Ele oferece maiores funcionalidades nas conexões ponto-multiponto, pois trás consigo um novo protocolo: o *LIJ(Leaf Initiated*

Joins)[ATM 96a]. O LIJ vem acrescentar ao UNI funcionalidades semelhantes às do IP multicast. Agora, qualquer máquina numa rede ATM pode ingressar ou sair de um grupo, sem precisar ser convidada pela raiz.

2.4 Conclusão

Apesar de ATM oferecer grande largura de banda e principalmente qualidade de serviço - QoS, não pode-se descartar as redes IP, pela simples substituição das redes IP por ATM, pois vimos que há um esforço enorme em também oferecer algum tipo de qualidade de serviço para as redes baseadas em serviços IP. O Fórum ATM já tem reconhecido essa realidade, e tem desenvolvido adaptações e mecanismos de interoperabilidade entre as duas tecnologias.

Nos próximos capítulos estudaremos soluções que foram desenvolvidas para adaptar ou integrar a comunidade IP a um núcleo ATM.

Capítulo 3 Serviços IP sobre ATM

Uma chave para sucesso do ATM é a habilidade de permitir sua interoperabilidade com a grande base instalada de redes locais (LANs - *Local Area Networks*) e de redes de longa distância (WANs - *Wide Area Networks*), bem como dos protocolos da camada de rede e de enlace que operam nestas redes.

A chave para tal conectividade é o uso dos mesmos protocolos da camada de rede(3), tal como IP e IPX, tanto nas redes existentes como nas redes ATM, uma vez que esta é a função principal da camada de rede: prover uma visão uniforme da rede para os protocolos de camada alta e aplicações. Resumindo, as principais razões para ter-se IP sobre ATM é que o IP é o padrão predominante nas redes de dados. O ATM oferece qualidade de serviço (QoS) e permite a implementação de comutadores de alta capacidade a um custo menor e também que o ATM está se tornando realidade no *backbone* das operadoras de telecomunicações.

Os projetos Internet2¹ (EUA) [<http://www.internet2.org>], Elisa² (European Experiment on the Linkage between Internet Integrated Services and ATM) [<http://www-st.inf.tu-dresden.de/elisa/>], e no Brasil os projetos RMAV³ (Redes Metropolitanas de Alta Velocidade) [<http://www.rnp.br/rnp2/rnp2-remav.html>] são exemplos de projetos que acreditam no bom desempenho do ATM como provimento das necessidades de suas aplicações, todos esses projetos usam e implementam a solução do IP sobre ATM e têm como objetivo o provimento de uma infra-estrutura de comunicação capaz de oferecer a QoS (*Quality of Service*) necessária às aplicações já mencionadas.

¹ Associação de mais de 130 universidades, 40 corporações e outras 30 organizações americanas.

² Originou-se através do programa European Commission's ACTS

³ Nasceu em parceria entre a RNP e o ProTeM-CC - Programa Temático Multi-institucional em Ciência da Computação.

3.1 Problemas da Implantação de IP sobre ATM

A implantação de IP sobre ATM em uma rede coerente não é simples. As duas tecnologias têm algumas diferenças e algumas aproximações. Antes de entender como essas tecnologias podem ser colocadas juntas, alguns problemas (talvez de natureza política) devem ser comparados

. A tabela 3 relaciona as principais diferenças em o IP e o ATM conforme visto no capítulo anterior.

Serviços Básicos	IP	ATM
Endereçamento	<ul style="list-style-type: none"> • 32-bits (atual) 	<ul style="list-style-type: none"> • NSAP 20 bytes (atual)
Transmissão em rede	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Unicast</i> • <i>Broadcast</i> • <i>Multicast</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • VC ponto-a-ponto • VC ponto-multiponto
Serviços de Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Datagramas (atual) • Flows (em progresso; similar em natureza a uma conexão ATM) 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuitos virtuais permanentes – PVCs (atual) • Circuitos virtuais comutados - SVCs (atual) • Fast Reservation (sendo acrescentado; similar em natureza aos datagramas)
Adaptação de Tamanho	<ul style="list-style-type: none"> • Segmentação e Remontagem 	<ul style="list-style-type: none"> • Concatenação de Células (Cells-In-Frames)
Sinalização	<ul style="list-style-type: none"> • RSVP (em progresso) 	<ul style="list-style-type: none"> • Q.93B (atual)
Qualidade de Serviço	<ul style="list-style-type: none"> • Fair Queuing (em progresso) 	<ul style="list-style-type: none"> • Classes de Tráfegos (ABR, UBR, CBR, VBR, etc...)

Tabela 3. Diferenças entre o IP e o ATM

Conforme mostrado na primeira linha da tabela acima, o IP e o ATM possuem estruturas de endereçamento próprio. As transmissões para endereços IP *unicast* ocorrem no ATM sobre um VC ponto-a-ponto bidirecional entre a fonte e o destino. As transmissões *broadcast*, definido no protocolo IP, é tratado pelo ATM como um caso especial de endereço *multicast*. As transmissões *multicast* ocorrem no ATM sobre um VC ponto-multiponto unidirecional entre a fonte e os destinos membros do grupo. O IP trabalha fragmentando datagramas em pequenas peças, se necessário, enquanto o ATM trabalha inicialmente com células e depois as agrupa em grandes *frames*, a fim de aumentar a eficiência dos *links*. O IP utiliza datagramas para o transporte de dados e está acrescentando *Flows*, que trabalham de forma semelhante a conexão ATM, enquanto o ATM tem conexões virtuais. O IP está acrescentando sinalização, enquanto

o ATM já possui. Tanto IP quanto ATM estão provendo qualidade de serviço. Em síntese, parece que o IP e o ATM oferecem serviços básicos similares.

Se ambos provém serviços básicos similares, a pergunta que fica é: Precisamos realmente dos dois? “Uma visão extrema é que o IP poderia ser o protocolo de *internetworking* e o ATM poderia ser tratado como qualquer outra sub-rede. De acordo com este ponto de vista, não existiria necessidade da utilização do ATM, seria melhor “rodar” IP sobre SONET diretamente”.

“Outra visão extrema é que o ATM eventualmente acabaria tomando completamente o lugar do IP”. O mais provável é que nenhum dos extremos venha a ocorrer: “É improvável que o IP perca completamente o seu lugar para o ATM, uma vez que ele já é largamente utilizado. Contudo, o IP tem suas raízes mais fortes junto a indústria de computação e não na indústria de telecomunicações. É mais provável que a indústria de telecomunicações construa os equipamentos para ATM e *Frame Relay*”.

Uma vez que a indústria de telecomunicações pensa “grande”, acredita-se que os equipamentos ATM, tais como *switches*, serão mais robustos que os equipamentos IP. Como o governo e grandes empresas precisam de equipamentos robustos, é provável que eles venham a instalar grandes redes ATM. Uma vez que estas redes estejam instaladas, elas utilizarão o IP no seu topo?”.

A resposta depende da importância da qualidade de serviço desejada. “Os protocolos ATM foram desenhados para incluir QoS, embora o QoS implementado nos equipamentos ATM até agora seja bastante básico. O IP também está incluindo QoS . Quando um sistema ATM provendo QoS estiver disponível, faz sentido “rodar” aplicativos que requerem QoS nativamente no topo de ATM. Aplicativos que não requerem QoS, que são largamente utilizados hoje, podem continuar a usar o IP da mesma forma. [PER 00]

Este capítulo apresenta e analisa várias estratégias de integração de IP sobre ATM, como elas se diferenciam, e os benefícios que oferecem.

3.2 Soluções para Integração IP sobre ATM

O controle de tráfego dos serviços IP sobre ATM estão divididos em dois cenários, o Modelo Integrado (*peer model*) e o Modelo de Sobreposição (*overlay model*) [WER 97], ambos estão ilustrados na Figura 7. No modelo de Sobreposição (*Overlay*)

existem os seguintes protocolos que permitem integrar outras tecnologias com o ATM, são eles *LAN Emulation*, *Classical IP*, *MPOA* (*Multiprotocol Over ATM (MPOA)*); no modelo integrado (*Peer*), temos: *IP Switching*, *Tag Switching*, *ARIS*, *CSR* e *MPLS* conforme detalhados na figura 17.

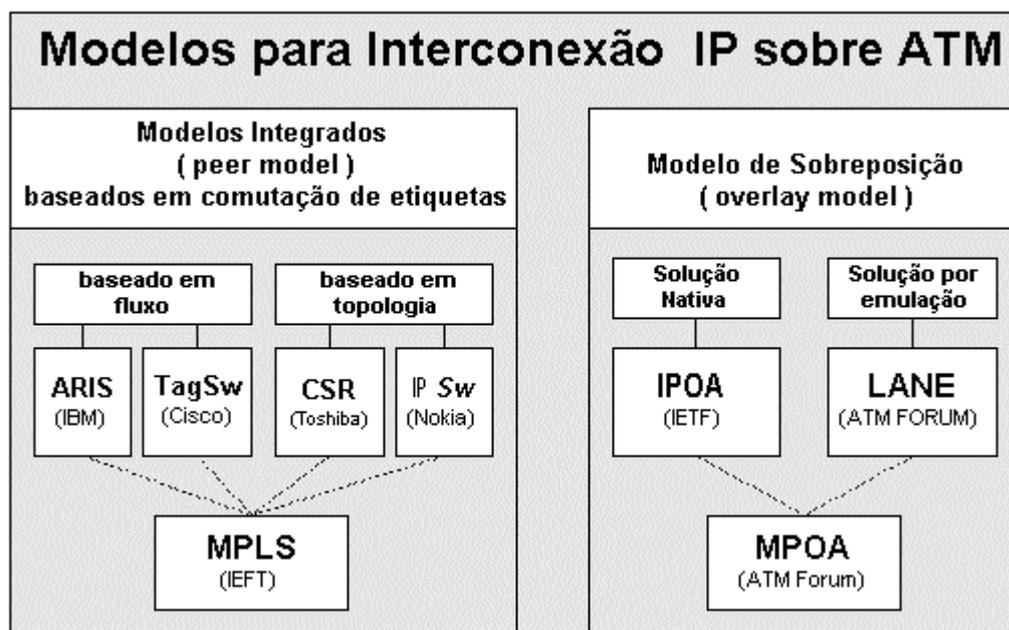


Figura 17. Cenário para interconexão IP sobre ATM [PAG 00a]

As seções que seguem detalham alguns destes modelos para interconexão IP sobre ATM.

3.3 Modelo de Sobreposição (Overlay Model)

Modelo de Sobreposição (ou Modelo de Sub-rede) visto na figura 20, desacopla a camada ATM de qualquer protocolo existente, fazendo com que qualquer outro protocolo (por exemplo, IPX) possa operar sob uma rede ATM. Este protocolo opera da mesma maneira do IP trabalhando sobre o protocolo X.25 ou sobre linhas discadas. Este modelo necessita de uma nova estrutura de endereçamento e de um protocolo de roteamento.

As propostas Emulação de LAN, IP Clássico sobre ATM e MPOA estão dentro do grupo de modelos de Sobreposição (*overlay model*). Isto implica que há uma separação entre o endereçamento dos pacotes IP (camada 3) e as células ATM (embutida na camada 2), portanto o roteamento e encaminhamento das unidades de transmissão dessas duas camadas são independentes.

3.3.1 Solução por Emulação

No âmbito de redes locais, há uma proposta do ATM Fórum, bastante difundida entre os fabricantes de equipamentos, conhecida como Emulação de LAN (LAN Emulation-LANE). Nela, os protocolos da subcamada MAC (*Medium Access Control*) interagem diretamente com as camadas da infra-estrutura ATM (Figura 18b). A vantagem dessa solução para a interação entre o IP e o ATM é que a camada de rede não é modificada, não havendo a necessidade da instalação de novos *drives* nos equipamentos para que a camada de rede possa interagir com o ATM. A Emulação de LAN "esconde" (figura 18 a) dos protocolos das camadas superiores os benefícios do ATM (QoS) impedindo que os mesmos sejam explorados [PER 00].

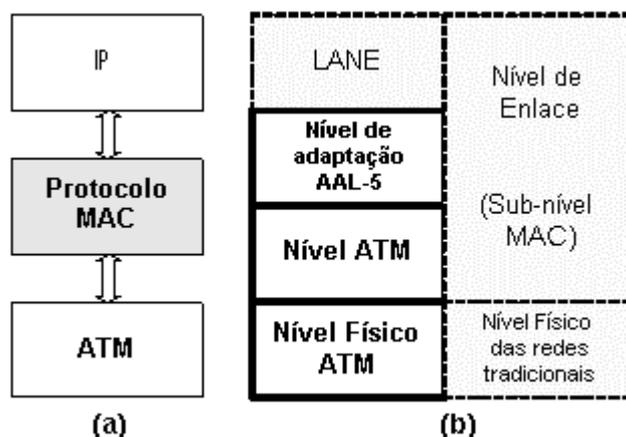


Figura 18. LANE: Solução por Emulação [PER 00]

3.3.2 Soluções Nativas

A IETF apresentou uma proposta bastante funcional para o cenário IP sobre ATM, conhecida como IP Clássico sobre ATM (Classic IP over ATM) que foi publicada através da RFC1577. Diferentemente da Emulação de LAN, no IP Clássico, o protocolo IP é colocado diretamente sobre a infra-estrutura ATM (Figura 19b) Esse modo de operação entre o IP e o ATM é conhecido como modo nativo.

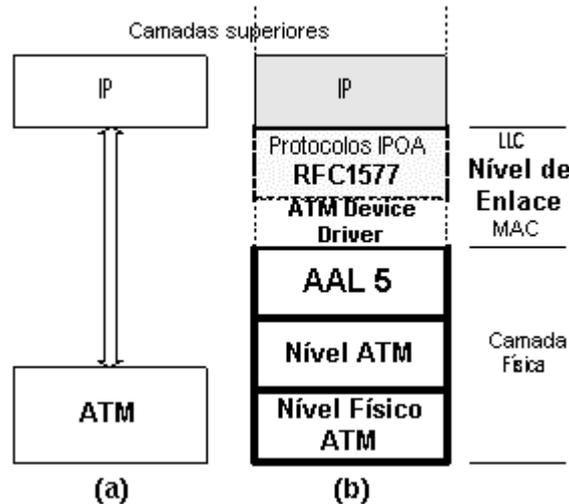


Figura 19. Solução Nativa [PER 00]

Uma das vantagens que o modo nativo oferece é a possibilidade do protocolo IP explorar propriedades da tecnologia ATM, como suporte à QoS, por exemplo. Uma desvantagem é requerer modificações nos *drives* da camada de rede (figura 19b).

Tanto no IP Clássico como no LANE, são preservados, no mínimo, os protocolos originais que correspondem à camada de rede(3), já que é uma função inerente dos protocolos dessa camada permitir a interoperabilidade entre diferentes redes físicas, fornecendo aos protocolos das camadas superiores (e, portanto, às aplicações) uma visão uniforme da rede resultante.

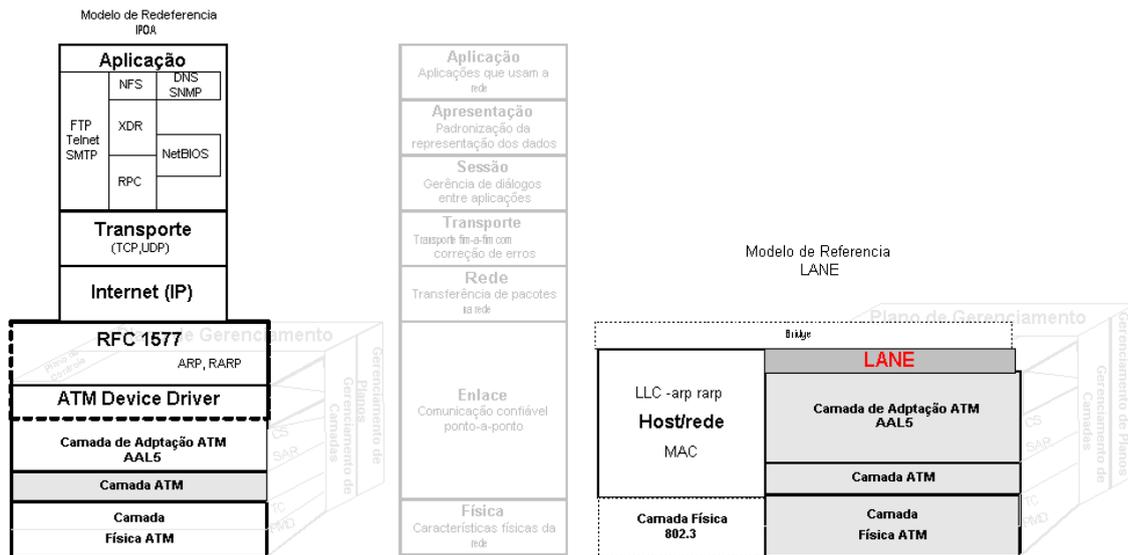


Figura 20. Modelos de Sobreposição [SOA 95][TAN 96]

3.4 Modelo Integrado (peer model)

O Modelo Integrado (figura 21) tentam aproximar os métodos de comutação e roteamento definido pelo IP e pelo ATM. Os modelo integrado possuem como objetivo evitar a duplicidade das tarefas executadas pelas camadas IP e ATM presentes nos modelos de sobreposição. Além de minimizar a sobrecarga de sinalização ATM, otimiza o processo de entrega de células ATM na rede e desta forma otimiza também a entrega de datagramas . Observe que os planos de controle e gerenciamento foram substituídos pelos protocolos de distribuição de etiquetas (LDP - *Label Distribution Protocol*).

O Modelo Integrado trata essencialmente da camada ATM como um par da camada de rede(3). Ele utiliza o mesmo esquema de endereçamento dentro da rede ATM, onde os extremos não necessitam de um protocolo para resolução de endereço.

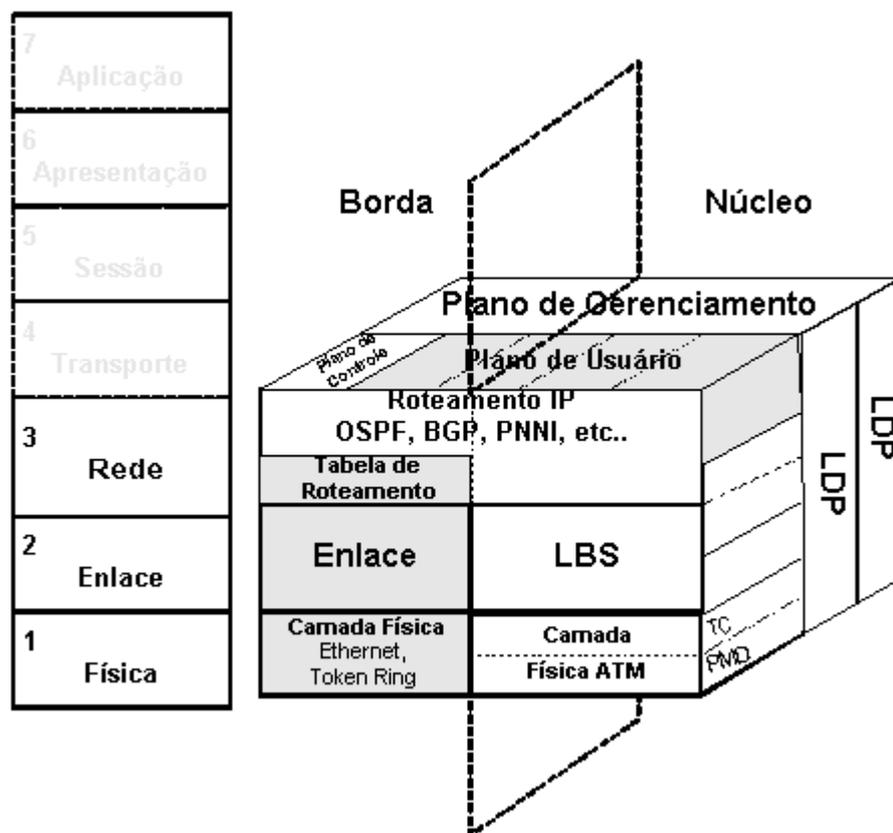


Figura 21. Modelo Integrado [TAN 98]

3.4.1 Comutação Baseada em Etiquetas

A comutação baseada em etiquetas (*Label Based Switching - LBS*) é uma nova arquitetura de encaminhamento rápido e de alta prioridade de fluxo de dados, dentro de um paradigma de circuito virtual comutado, de forma mais eficiente que o roteamento convencional, onde são analisados os cabeçalhos pacote por pacote.

Esta abordagem tem como objetivo evitar a complexidade inerente ao modelo clássico IP sobre ATM, onde o modelo de sobreposição não é utilizado. São usados endereços e protocolos de roteamento IP juntamente com comutação de etiquetas (tipo ATM). Essas etiquetas são pequenos conjuntos de bits, de comprimento fixo e não estruturado, que são transportadas no cabeçalho de um quadro (nível 2) ou em um campo suplementar entre os cabeçalhos de níveis 2 e 3 de um pacote.

Em ATM, a etiqueta pode ser transportada no campo VPI/VCI. Comutadores ATM enviam pacotes para a rede utilizando “substituição de etiquetas” (*label swapping*), mas o mecanismo para construir as tabelas de encaminhamento é controlado pelo protocolo IP.

Sob o ponto de vista de controle do comutador, os comutadores ATM comportam-se como roteadores IP. Eliminou-se a necessidade de mapeamento entre IP e ATM no nível do controle, não usando a sinalização ATM. A Figura 22 mostra o diagrama conceitual de um comutador IP, onde o software de um roteador IP é integrado ao hardware de um comutador ATM [ROD 99]

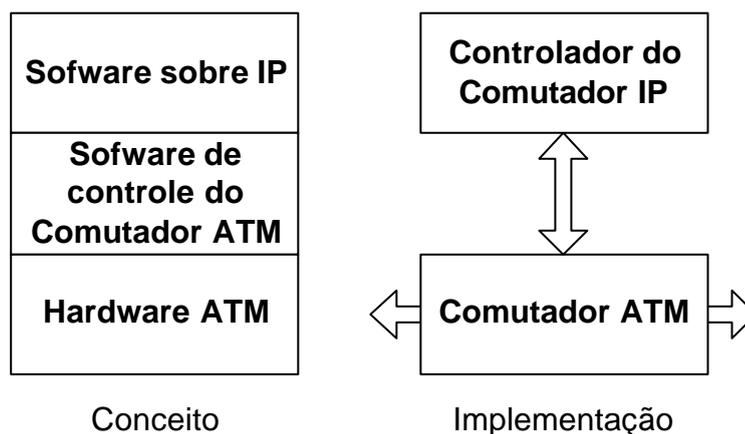


Figura 22. Comutador IP

A tecnologia LBS possibilita a utilização do que há de melhor das redes baseadas em pacotes (como as redes IP) e das redes orientadas a conexão (como as redes ATM). Dentro da sua arquitetura é possível a implementação de garantia de níveis

de serviços em redes corporativas e de longa distância. A Figura 23 apresenta um esquema de funcionamento básico de tecnologias de comutação de pacotes baseados em etiquetas (LBS)[ARA 98]

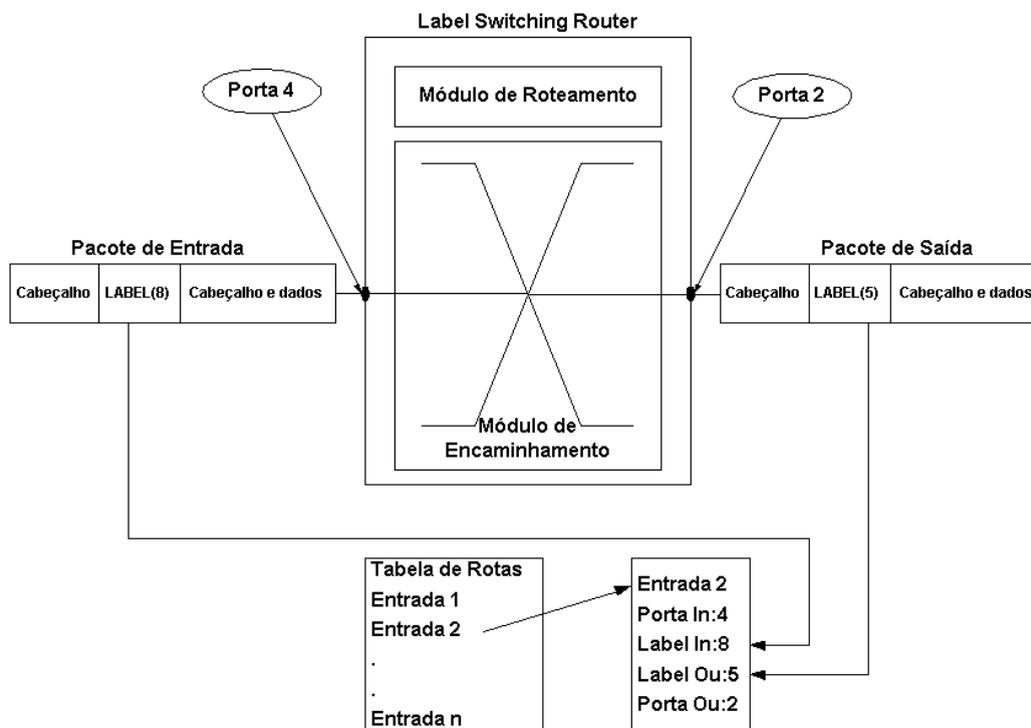


Figura 23. Comutação de pacotes baseados em etiquetas (LBS)[ARA 98]

LBS usa etiquetas pequenas e de tamanho fixo (análogo ao ATM) para encapsular a semântica do processo de roteamento, que são adicionadas aos pacotes de dados que entram na rede LBS. Os pacotes assim etiquetados podem ser agrupados em categorias. Assim, os pacotes de uma mesma categoria (classificados a partir de algum critério, como porta de origem e destino, tipo de protocolo, etc..) vão seguir um mesmo caminho virtual, através da infra-estrutura LBS. Com esta tecnologia, o roteamento convencional (implícito – “hop- by- hop”) só é feito para o primeiro pacote de uma dada classe (roteamento inicial). A partir do momento que outros pacotes (da mesma categoria) ingressarem na estrutura LBS, um caminho virtual já estará marcado, e orientado a partir de um esquema de distribuição de etiquetas. Com esta infra-estrutura é possível agregar-se suporte a tecnologias emergentes, dentro do campo da QoS.

Por si só, o roteamento explícito (todos os pacotes atribuídos a uma mesma classe de equivalência, encaminhados em um mesmo caminho virtual) já é um fator alavancador de QoS em um ambiente de rede. O roteamento implícito é um dos

principais fatores de inserção de atrasos e principalmente variação de atraso em um transmissão de dados (uma vez que os cabeçalhos dos pacotes são analisados “hop-by-hop” e nem sempre o caminho que eles percorrem entre a origem e o destino é o mesmo).

3.5 Conclusão

Neste capítulo estudamos os dois modelos possíveis de integração IP com ATM, onde os que modelos de sobreposição desacoplam a camada ATM de qualquer protocolo existente, fazendo com que qualquer outro protocolo (por exemplo, IPX) possa operar sob uma rede ATM e que os modelos integrados desacoplam as funções de roteamento IP e de encaminhamento em dois planos distintos e que os comutadores ATM no modelo integrado são verdadeiramente roteadores IP.

Os dois próximos capítulos apresentam uma introdução, explicitando cada um das técnicas e apresentando um paralelo entre as mesmas.

Capítulo 4 Soluções baseadas em comutação de etiquetas

Como visto no capítulo anterior, a solução baseada em etiqueta para integração de IP sobre ATM é um esquema para se mapear endereços de camada 3 (endereços IP) para endereços de camada 2 (endereços MAC ou VCI/VPI usados em ATM e Frame Relay) e utilizar a comutação do nível 2 (switching). Nesta solução, os comutadores são acrescidos de um processador de rotas, que computam a topologia da rede como os roteadores convencionais. Mas os pacotes são encaminhados no nível 2, ultrapassando os tradicionais gargalos entre sub-redes, graças ao mapeamento de endereços nível 3 para nível 2. Mesmo assim, o processador de rotas ainda depende de protocolos de roteamento como RIP, OSPF e BGP.

Este capítulo apresenta as soluções de implementações de IP sobre ATM baseadas em etiquetas. Estas soluções podem ser divididas em 3 categorias: mapeamento baseado em topologia, mapeamento baseado em fluxo e o mapeamento utilizando ambos. Observando que os mapeamentos baseados em topologia e fluxos são soluções proprietárias e a que utiliza ambos é uma proposta do IETF (*Internet Engineering Task Force*).

4.1 Mapeamento baseado em Topologia

Os sistemas baseados em topologia analisam a topologia da rede e tenta estabilizar um conjunto de conexões que unem vários pontos da rede, com objetivo de construir uma malha de circuito virtual ATM que formam atalhos entre os pontos.

As tecnologias baseadas em topologia atuais são o IP Navigator da Cascade, Tag Switching da Cisco e o ARIS da IBM. A decisão de encaminhamento é feita baseada ou pelo endereço IP destino ou pela combinação dos endereços IP origem e destino, que são mapeados para formar o cabeçalho de nível 2.

No Tag Switching da Cisco, roteadores de borda acrescentam uma etiqueta de tamanho fixo (tag) nos pacotes destinados à uma mesma sub-rede. Estes tags têm significados locais. Esta “marcação” cria um VC para cada entrada da tabela de roteamento. Cada nó da rede efetua a comutação através da troca do tag de entrada pelo

tag de saída baseado na tabela de tags (TFIB = *Tag Forwarding Information Base*). Para distribuir as informações de rotas dos protocolos OSPF, BGP ou EIGRP, é utilizado o protocolo TDP (*Tag Distribution Protocol*) para atualizar as tabelas de tags.

Na rede de comutadores, o tag é encapsulado no VPI e VCI da célula ATM, ou no Flow Label do pacote IPv6 ou nos 19 bits após o cabeçalho do pacote PPP, permitindo o seu uso em uma variedade de mídias.

Uma das vantagens deste esquema é a disponibilidade através de software do Tag Switching nos equipamentos existentes: Cisco 7500, Cisco Lighstream 1010, Cisco Stratacom BPX ATM e Cisco 12000. Outras características são a coexistência com serviços ATM, suporte a outros protocolos de nível 3 como IPX e diferenciação da qualidade de serviço com suporte ao RSVP.

Similarmente, o *Aggregate Route-Based IP Switching* (ARIS), proposto pela IBM, é baseado na topologia da rede, mas cria um VC para cada roteador de destino.

O IP Navigator da Cascade usa os endereços IP multicast (RFC 1112) para definir o caminho do pacote pela rede. Ou seja, os comutadores encaminham todos os pacotes endereçados para múltiplos destinatários de uma rede IP, simplificando a tabela de rotas e dispensando o uso de elementos de borda. Com a aquisição da Cascade pela Ascend, resta saber como as abordagens GRF e IP Navigator serão integradas.

4.2 Mapeamento baseado em Fluxo

Um fluxo IP é caracterizado de acordo com os campos contidos no cabeçalho IP/TCP/UDP que determinam as decisões de roteamento, os quais são: tipo de serviço (TOS), protocolo, endereço fonte, endereço destino, porta fonte, e porta destino. Dois pacotes pertencem ao mesmo fluxo se os valores desses campos são idênticos.

Foram definidos 2 tipos de fluxo:

Tipo de fluxo par-de-portas (tipo1) é para o tráfego fluindo entre as mesmas portas TCP/UDP fonte e destino, nos mesmos endereços IP fonte e destino. Os campos tipo de serviço, protocolo e TTL devem também ser os mesmos. Ele permite que haja uma diferenciação de qualidade de serviço entre uma mesma fonte de destino.

- Tipo de fluxo par-de-computadores (tipo2) é para o tráfego fluído entre os mesmos endereços IP fonte e destino com o mesmo TTL.

A tecnologia de mapeamento baseado em fluxo supõe que a maior parte do tráfego é composto de serviços orientados a fluxo como FTP, HTTP, Telnet e o tráfego multimídia. O comutador identifica estes fluxos mais duradouros e cria um circuito virtual ATM para cada um, sendo que o tráfego restante é roteado normalmente nó a nó, apresentando uma latência variável de 10 microssegundos no modo comutado a 150 microssegundos no modo roteado.

O termo *IP Switching* esteve originalmente relacionado à implementação da Ipsilon Networks (adquirida pela NOKIA). A tecnologia desenvolvida por esta empresa pretende evitar a natureza não-conectada do ATM e permitir uma integração maior do tráfego IP através de mecanismos de tratamento IP direto no hardware ATM. Este casamento do comutador ATM com roteamento IP, mostrado na Figura 24, mistura protocolos de roteamento como OSPF com novos protocolos como o *Generic Switch Management Protocol* (GSMP) e o *Ipsilon Flow Management Protocol* (IFMP), ambos publicados em RFCs, e mecanismos proprietários de controle.

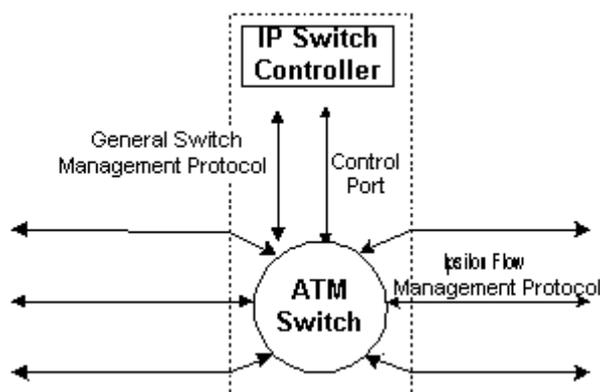


Figura 24. Estrutura do comutador IP da Ipsilon Networks[CAL 97]

A Figura 25 mostra o princípio de funcionamento do IP Switch, onde:

- a. Os protocolos de roteamento (OSPF, IGRP) determinam rotas para redes destinos.
- b. Roteador de entrada recebe o pacote e encaminha no VCI default para o Controlador do IP Switch.
- c. Controlador do IP Switch Controller classifica os fluxos duradouros.
- d. Controlador do IP Switch usa protocolo IFMP para estabelecer novo VCI para switches adjacentes e roteadores.
- e. Controlador do IP Switch estabelece caminho comutado baseado no VCI.

f. Com o caminho de VCI's estabelecido, se inicia a comutação.

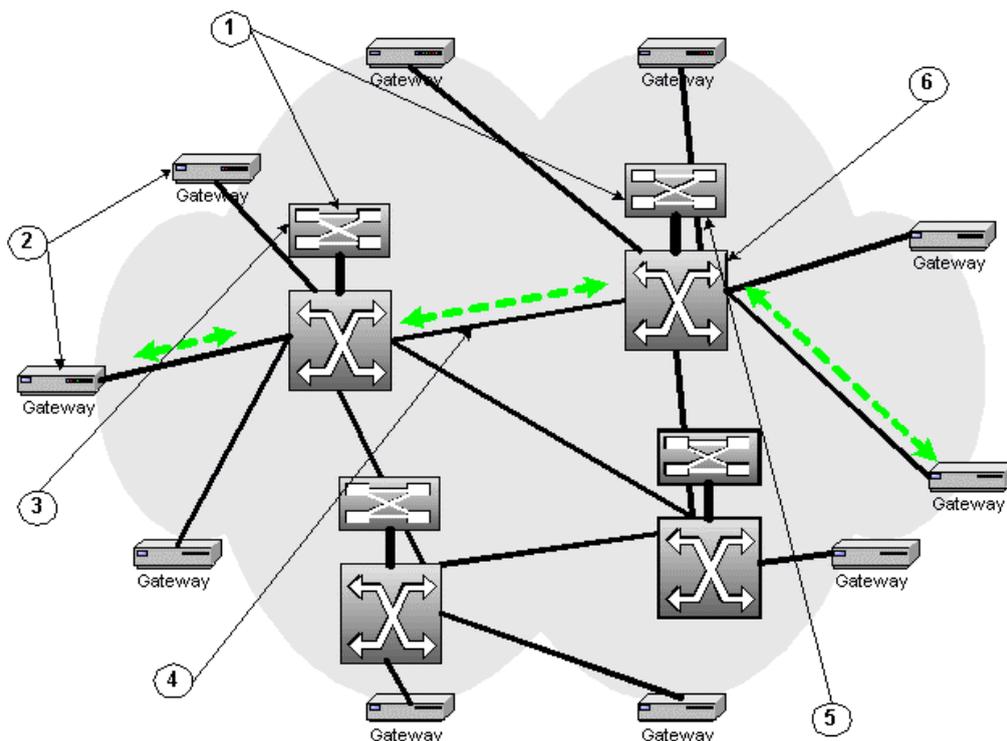


Figura 25. Operação do IP Switch[CAL 97]

Um problema reconhecido pelos fabricantes é a escalabilidade para redes de grande porte, uma vez que o número de fluxos pode exceder o número máximo de circuitos virtuais suportados.

4.3 MPLS (MultiProtocol Label Switch)

MultiProtocol Label Switch está sendo definido pela IETF como uma proposta de padrão que aplica tecnologia label switching (comutação por rótulos) para redes de larga escala. O MPLS Working Group foi criado no início de 1997 e desde então tem produzido documentos que vem sendo discutidos na definição do MPLS como um padrão de fato. Antes da formação do MPLS Working Group muitos fabricantes construíram sua própria versão proprietária para uma comutação baseada em rótulos.

A IETF desenvolveu o MPLS em resposta ao grande número de problemas inter-relacionados que necessitavam de atenção imediata. Estes problemas incluem: escalabilidade de redes IP para atender a demanda crescente do tráfego do Internet, níveis de diferenciação de serviços baseados em IP, compartilhamento de um mesmo

canal por aplicações com diferentes características e eficiência operacional em meio a várias outras abordagens presentes no mercado.

Há um grande número de técnicas proprietárias no mercado. O objetivo do MPLS é criar um padrão baseado nas características propostas por cada uma dessas técnicas (veja Tabela 4), e irá unir o melhor do IP Switching da Ipsilon, Tag Switching da Cisco, ARIS da IBM e CSR da Toshiba.

Característica	IP Switching	CSR	Tag Switching	ARIS
Camada de enlace suportada	ATM	ATM, FR	ATM, FR, Ethernet	ATM, FR
Camada de rede suportada	IP	IP	IP, outros	IP
Comutação Hierárquica	nenhum	Nenhum	Suporta tags em pilha	nenhum
Iniciador de VCs	Próximo Switch	Ambos	Ambos	Roteador destino
Protocolo de estabelecimento de VC	IFMP	FANP	TDP	ARIS
Mapeado por	Fluxo	Fluxo	Topologia	Topologia

Tabela 4. Principais características das soluções proprietárias

4.4 Arquitetura MPLS

A figura 26 descreve os protocolos que podem ser usados para a operação do MPLS. O módulo de roteamento pode um dos vários protocolos usados pela indústria. Dependendo do ambiente de operação, o módulo de roteamento pode ser OSPF, BGP, ou ATM PNNI, etc. O módulo LDP mostra os protocolos de sinalização. O módulo de encaminhamento IP-fwd executa o clássico encaminhamento IP (ver capit. X), o MPLS-fwd faz a combinação dos rótulos de um dado pacote em um porta de saída. Os módulos mostrados em linhas tracejadas podem ser implementados no hardware para serem rápidos e eficientes.

Apesar de MPLS conceitualmente suportar múltiplos protocolos (o nome sugere isso), o trabalho inicial é focado na integração do IPv4 com o ATM e frame relay que já foram desenvolvidos por provedores de serviços de rede em larga escala . Ao contrário de IP Switching, MPLS é um assunto extremamente fértil atualmente que desperta interesse de vários pesquisadores e fabricantes de soluções para comutação para a camada 3.

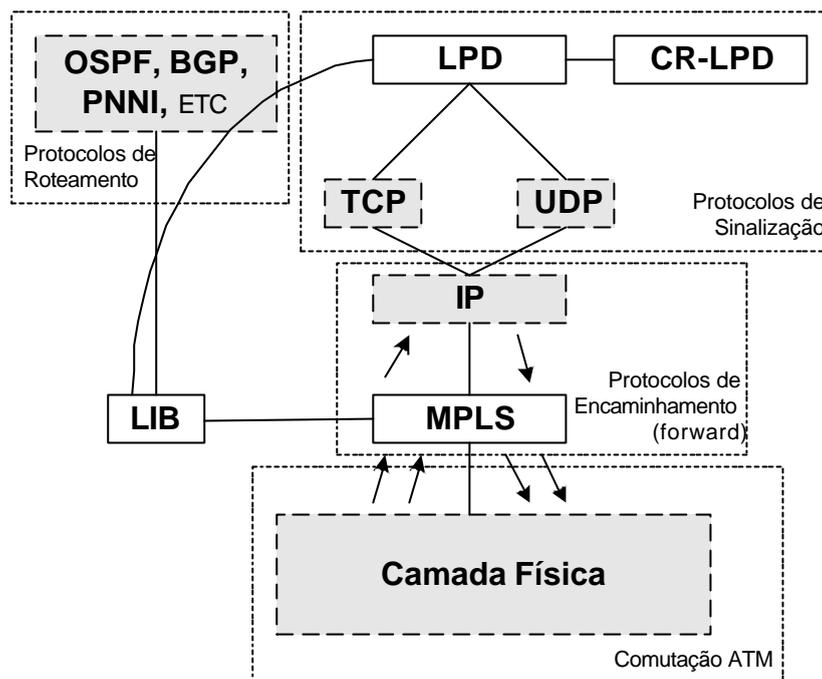


Figura 26. Protocolos da arquitetura MPLS[HAR 99]

Princípios Básicos

A função de encaminhamento de um roteador convencional envolve um procedimento de análise do cabeçalho IP, que demanda uma certa capacidade de processamento, e que é executado para cada pacote em cada roteador da rede. À medida que a velocidade dos meios de comunicação cresce, a função de encaminhamento pode tornar-se um gargalo. Algoritmos mais eficientes e estruturas de dados, processadores e memórias mais rápidos, emprego de circuitos ASIC's, etc. são algumas das técnicas utilizadas para superar este desafio nos módulos de encaminhamento de roteadores convencionais.

MPLS tem uma abordagem diferente, simplificando a função de encaminhamento em roteadores núcleo, através da introdução de um mecanismo orientado a conexão dentro do IP. O MPLS desacopla as funções de roteamento IP e de encaminhamento em dois planos distintos (Figura 27). Computadores ATM que suportem MPLS são verdadeiramente roteadores IP. Adiciona-se ao comutador ATM a funcionalidade de protocolos de roteamento do tipo OSPF, RIP, BGP, etc., e atribui-se aos roteadores ATM endereços IP (e não mais endereços ATM), os quais são anunciados por estes protocolos de roteamento. Nestes roteadores ATM, os datagramas dos protocolos de roteamento são mapeados sobre a AAL5 e distribuídos nas interfaces

ATM em VPI/VCI reservado especificamente para este fim. Nos roteadores convencionais, a função de roteamento IP já é parte integrante destes dispositivos.

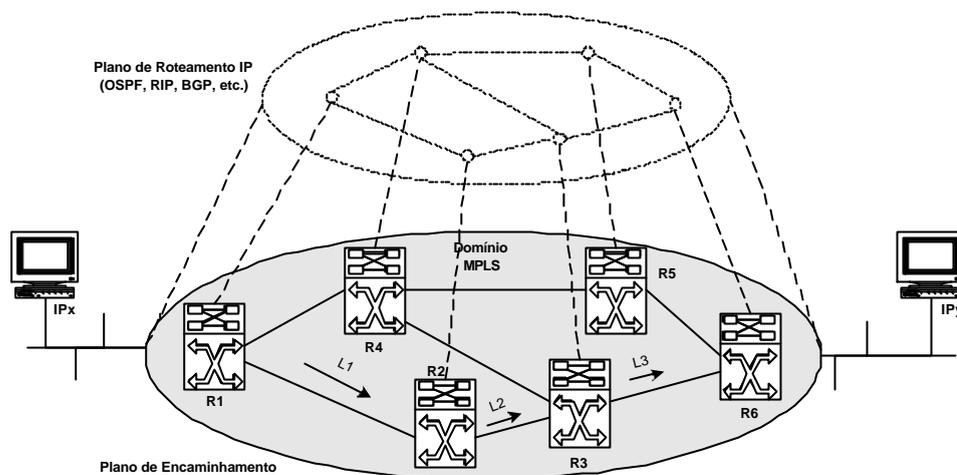


Figura 27. Paradigma fundamental do MPLS [ROS 99]

O conceito chave no MPLS é a identificação e a marcação dos pacotes com rótulos e repasse desses pacotes por roteadores ou comutadores modificados (modificações no nível de software), que então usa os rótulos para comutar os pacotes através da rede. Para o caso do protocolo IP, os rótulos são criados e atribuídos aos pacotes IP (datagramas), baseando-se em informações de protocolos de roteamento existentes.

MPLS introduz um conjunto de terminologia próprio. Alguns conceitos e termos importantes são apresentados abaixo e podem ser visualizados na Figura 28.

- *Label Edge Router (LER)* é um dispositivo que se situa na borda de um domínio MPLS e é capaz de utilizar informações de roteamento para atribuir rótulos aos datagramas e então repassá-los ao domínio MPLS.
- *Label Switched Path (LSP)* é um caminho específico que um datagrama percorre através da rede baseado nos rótulos que são atribuídos para este datagrama.
- *Label Switching Router (LSR)* é um dispositivo que tipicamente reside em algum lugar no meio da rede e é capaz de repassar os datagramas de acordo com o rótulo presente nos cabeçalhos dos mesmos. Em muitos casos de redes IP sobre ATM, um LSR seria tipicamente um comutador ATM modificado que repassa os datagramas baseando-se em rótulos residentes no campo VPI/VCI.
- *Label Distribution Base (LIB)* é a base de associações dos rótulos armazenados pelo LSR e consultadas durante o processo de repasse dos datagramas.

- *Label Distribution Protocol (LDP)* é o protocolo utilizado na distribuição de rótulos entre os LSR's e LER's.
- *Forwarding Equivalence Class (FEC)* representa um grupo de pacotes que compartilham características comuns (por exemplo, origem, destino, prioridade), e portanto são repassados usando o mesmo fluxo. FEC's provêm o mapeamento dos pacotes para os fluxos MPLS.
- Domínio MPLS: mostrado na figura 28 é uma porção da rede que contém dispositivos que entendem MPLS.

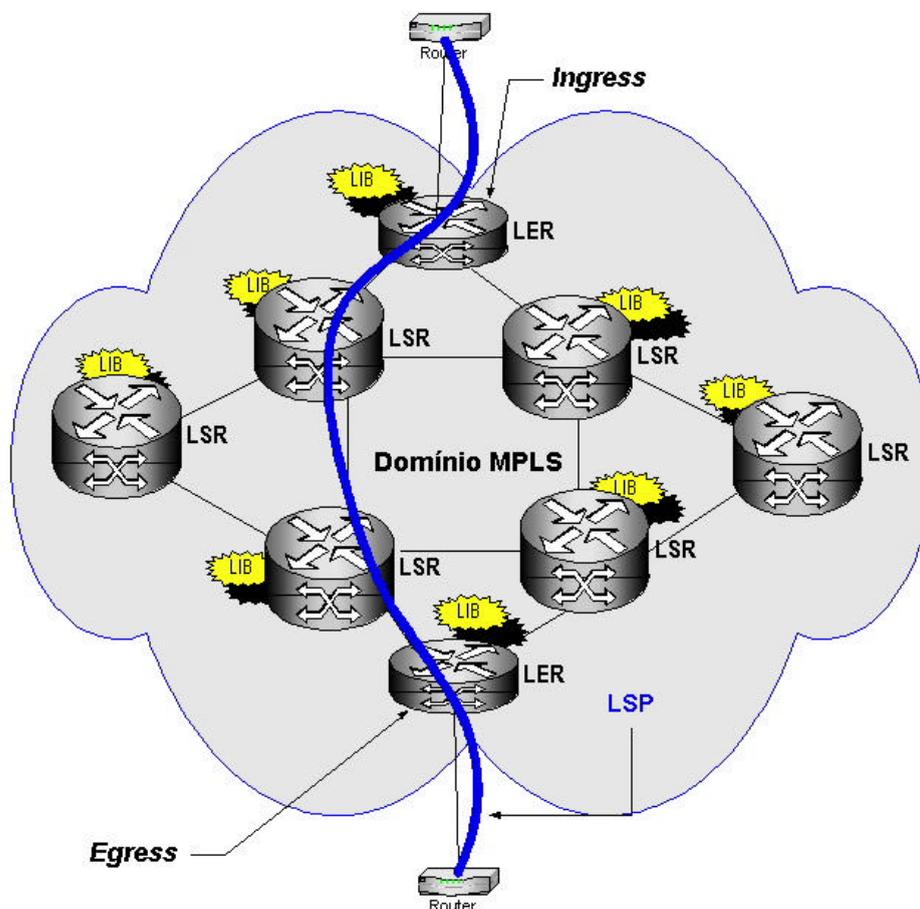


Figura 28. Domínio MPLS[ROS 99]

Apesar de MPLS requerer roteadores que realizam comutação por rótulos (LRS) para participar do roteamento IP, aspectos de repasse dos datagramas no MPLS diferem significativamente do roteamento IP convencional. Os LRS's participam do roteamento IP para entender a topologia da rede da perspectiva da camada 3. O conhecimento do roteamento é então utilizado para atribuir rótulos aos datagramas. Rótulos são análogos aos pares VPI/VCI utilizados pelo ATM. Quando vistos em uma base fim-a-fim

(orientada à conexão), os rótulos combinam para definir caminhos entre os pontos finais. Esses caminhos chamados de LSP's, são intencionalmente muito similares aos VC's utilizados pelas tecnologias de comutação. Em adição, o LSP habilita mecanismos de repasse da camada 2 para serem utilizados. A troca de rótulo (label-swapping) é tipicamente muito rápida e pode ser implementada de forma bastante barata em hardware .

4.4.1.1 Detalhes de Funcionamento

Os seguintes passos mostram o funcionamento de MPLS :

1. MPLS setup e manutenção de rótulos: nessa fase, há o estabelecimento dos LSP's. Os LRS's e LER's usam protocolo de roteamento padrão (BGP,OSPF) para definir rotas através da rede. Então eles negociam a semântica dos rótulos que será utilizada com seus nodos envolvidos na rota escolhida pelo protocolo de roteamento. Um rota definida entre quaisquer nodos da rede são associadas com rótulos de tamanho fixo e pequeno que são distribuídos através da rede. Rótulos de cada LSR são armazenados em sua LIB própria e são periodicamente refrescados e distribuídos utilizando o LDP. Para representar uma rota explícita, rótulos são incluídos na FEC que associa um grupo de datagramas com características comuns. Uma entrada na FEC pode estar associada a várias comunicações entre um nodo e outro. Assim, o número de rótulos é menor o que diminui o tamanho da FEC e da LIB, acelerando a consulta nas mesmas e conseqüentemente o repasse do pacotes. Os nodos LER de ingresso (ingress) e LER de egresso (egress) utilizam a FEC para mapear os pacotes em fluxos e os fluxos em pacotes.
2. Entrada de Pacote: ao entrar num domínio MPLS, um pacote é classificado, roteado (classificação e roteamento feitos juntos ou não) e tem seu cabeçalho rotulado pelo LER de ingresso (ingress LER), através de uma consulta a sua FEC. A consulta à FEC provê um conjunto de instruções sobre o repasse do pacote, informações do rótulo e outras informações de cabeçalho. Se uma entrada na FEC é encontrada para aquele pacote, um rótulo apropriado é acrescentado ao pacote entre a camada de rede e camada de enlace de dados. Se não há uma entrada na FEC para aquele pacote, ele é roteado utilizando o roteamento convencional e uma entrada na FEC é introduzida.

3. Atravessando a Rede: os LRS's verificam suas tabelas de rótulos com o rótulo contido no pacote e realiza a comutação. Isto é, troca o rótulo contido no pacote, por um rótulo correspondente contido na LIB, e repassa o pacote observando também sua LIB, caso haja uma entrada na LIB para o rótulo correspondente. Se não há entrada na LIB, o pacote é roteado seguindo o padrão de roteamento definido pela camada
4. Saída do pacote: no LER de egresso (**egress LER**) do domínio MPLS o cabeçalho correspondente ao rótulo anteriormente inserido é retirado. Assim, há a interoperabilidade do MPLS com redes que não o implementam .

4.4.1.2 Qualidade de Serviço

Fazendo uma análise de MPLS pode-se dizer que um benefício básico de MPLS para o usuário é o provimento da QoS. O RSVP (*Resource reSerVation Protocol*) pode ser utilizado para fazer reserva de recursos através dos LSP's. O fato dos LSP's ter todas as propriedades de um circuito virtual, podem ser atribuídos recursos a ele e QoS pode ser garantida .

Num cenário de IP, MPLS pode oferecer QoS através de seus rótulos de protocolos projetados para esse fim na camada de rede (tal como o RSVP). Com IP sobre ATM , MPLS pode auxiliar no mapeamento de classes de serviços definidas por arquiteturas IP para o provimento QoS (tal como Serviços Diferenciados – citar referência bibliográfica) para classes de serviços definidas pelo ATM.

4.5 Conclusão

Este capítulo apresentou as soluções de implementações de IP sobre ATM baseadas em etiquetas, em particular, foi apresentada a tecnologia MPLS.

MPLS está sendo criado pela IETF na tentativa que fornecer um padrão para endereçar problemas de desempenho de roteamento e repasse de pacotes na camada de rede. Devido a insipiência de propostas de padrões, a simplicidade e coerência do MPLS com sua proposta real o torna bastante promissor. O fato de ser o mais recente das soluções baseadas em etiquetas também o favorece no sentido de evitar problemas encontrados com as soluções anteriores (modelos topologia e fluxo). Apesar de não ser o objetivo central de MPLS, ele se aplica com bastante sucesso em redes IP e mais

especificamente no cenário IP sobre ATM. Há várias semelhanças entre a comutação de pacotes realizada pelo MPLS na camada de rede e a comutação de células realizada pelo ATM. Isso, torna MPLS foco também desse tipo de cenário.

No próximo capítulo serão analisadas as propostas do modelo de sobreposição (overlay model).

Capítulo 5 Solução por Emulação e Nativa

As propostas de Emulação de LAN e as Soluções Nativas, estão dentro do grupo dos modelos de sobreposição, apresentado no capítulo 4. Isto implica que há uma separação entre o endereçamento dos pacotes IP (camada 3) e as células ATM (embutidas na camada 2). Com isto, o roteamento e o encaminhamento das unidades de transmissão dessas duas camadas são independentes.

Na proposta de Emulação de LAN do ATM Fórum, os protocolos da subcamada MAC (*Medium Access Control*) interagem diretamente com as camadas da infra-estrutura ATM. A vantagem dessa solução de interação IP com ATM é que a camada de rede não é modificada, não havendo a necessidade da instalação de novos drivers nos equipamentos para que a camada de rede possa interagir com o ATM, ou seja, ela “esconde” dos protocolos das camadas superiores os benefícios do ATM (p.e., QoS) impedindo que os mesmos sejam explorados.

Nas Soluções Nativas (IPOA e MPOA), o protocolo IP é colocado diretamente sobre a infra-estrutura ATM, tirando a vantagem de explorar as propriedades da tecnologia ATM, como o suporte à QoS. Tendo como desvantagem modificações nos drivers da camada de rede.

Este capítulo detalha as propostas de Emulação de LAN e as soluções nativas de integração de IP sobre ATM.

5.1 Serviço de Emulação de LAN (*Lan Emulation*)

O serviço LAN *Emulation* ou LANE, é um padrão do Forum ATM que suporta pacotes de LAN 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 se comunicar, inclusive com os dispositivos ATM.

A grande maioria da base instalada de comunicação de dados é baseada em redes locais (LANs) IEEE 802.x, tais como Ethernet e Token Ring. Os serviços oferecidos

pelo ATM são bastante diferentes dos oferecidos pelas LANs. As principais diferenças são as seguintes:

- As redes locais enviam quadros sem estabelecer conexões, enquanto que o ATM é orientado a conexão;
- As redes locais se caracterizam por ter o meio compartilhado, o que facilita muito o broadcast e o multicast. O ATM possui multicast, mas não oferece broadcast;
- O endereçamento ATM é hierárquico, ou seja, reflete a topologia da rede. As redes locais se baseiam nos endereços MAC, que são endereços físicos independentes da topologia.

O LAN Emulation, ou LANE, é um serviço implementado por meio de uma camada de software em qualquer estação que possua uma interface ATM, seja ela um host, comutador ou roteador. Sua função básica é oferecer ao protocolo camada rede uma interface idêntica à oferecida por uma rede local tradicional. Isto é feito no sentido de que não seja necessário modificar os protocolos de rede para se operar uma rede local ATM. Além disso, o LANE define o bridging entre o ATM e os protocolos LAN, permitindo que as estações ligadas às duas redes se comuniquem de forma transparente. A figura 30 ilustra o modelo de referência de protocolos do LANE.

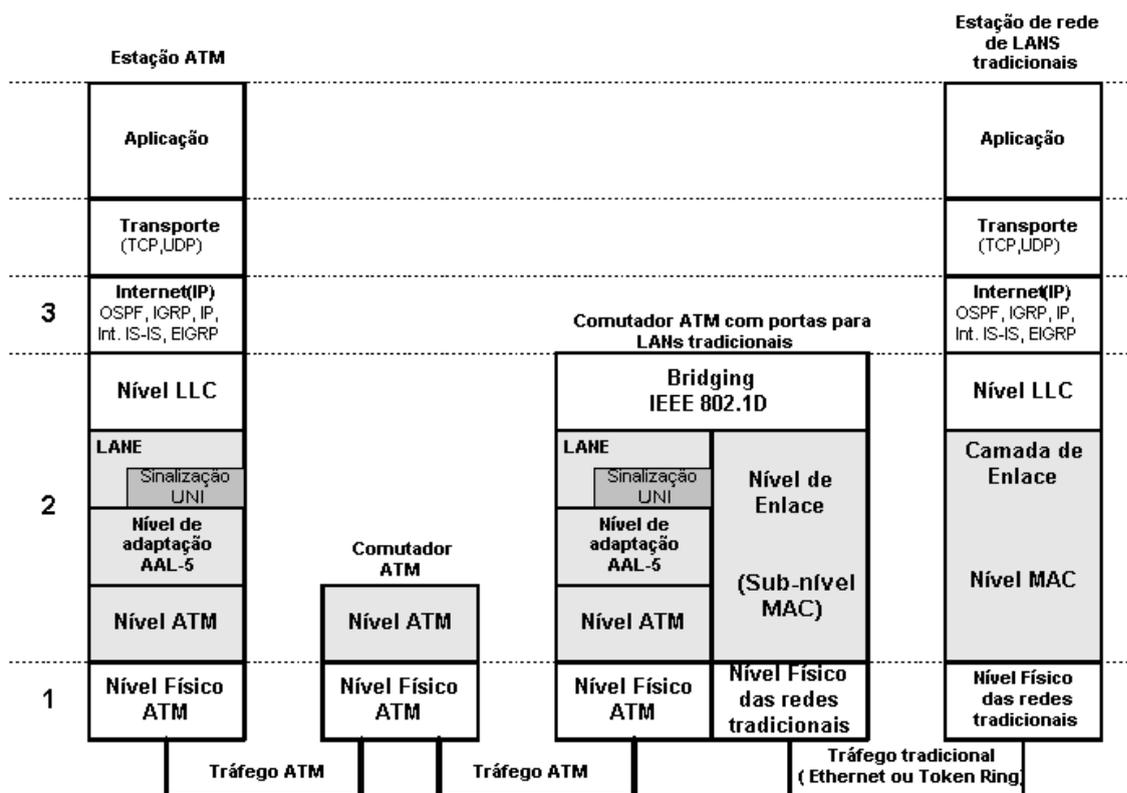


Figura 29. Modelo de Referência de Protocolo do LANE[ARA 98]

5.1.1 A Estrutura do LANE

O LANE é composto por: um conjunto de clientes de LANs emuladas (LECs - *LAN Emulated Clients*), um servidor de serviço de LAN emulada (LES - *LAN Emulated Service*), a interface de usuário de LAN Emulation, LUNI (*LAN Emulation User Interface*) e a interface entre os elementos do serviço LNNI (*LANE Network Node Interface*). Cada LEC é a representação de uma estação, pertencente à rede emulada e à rede ATM, que tem o seu próprio endereço MAC e ATM, conforme é mostrado na figura 30.

Segundo o LANE todas as implementações de LECs devem ter a garantia de interoperabilidade, porém os servidores LES, quando pertencentes a diversos fabricantes, numa mesma rede ATM, não tem esta garantia. Este problema, da interoperabilidade de LES de vários fornecedores, deverá ser resolvido na versão 2.0 LANE.

A Comunicação entre os LECs é feita através de VCCs (*Virtua Channel Connections ATM*). As LANs emuladas podem operar tanto com SVC (*Switched*

Virtual Circuit) ou PVC (*Permanet Virtual Circuit*). A estrutura geral do serviço de LAN emulada (LE Service) que é composto por três blocos funcionais:

1. LES (*Lan Emulated Server*), ou um Servidor de LAN emulada,
2. LECS (*Lan Emulation Configuration Server*), ou um servidor de configuração de LANs e um,
3. BUS (*Broadcast and Unknown Server*), ou um servidor de *broadcast*.

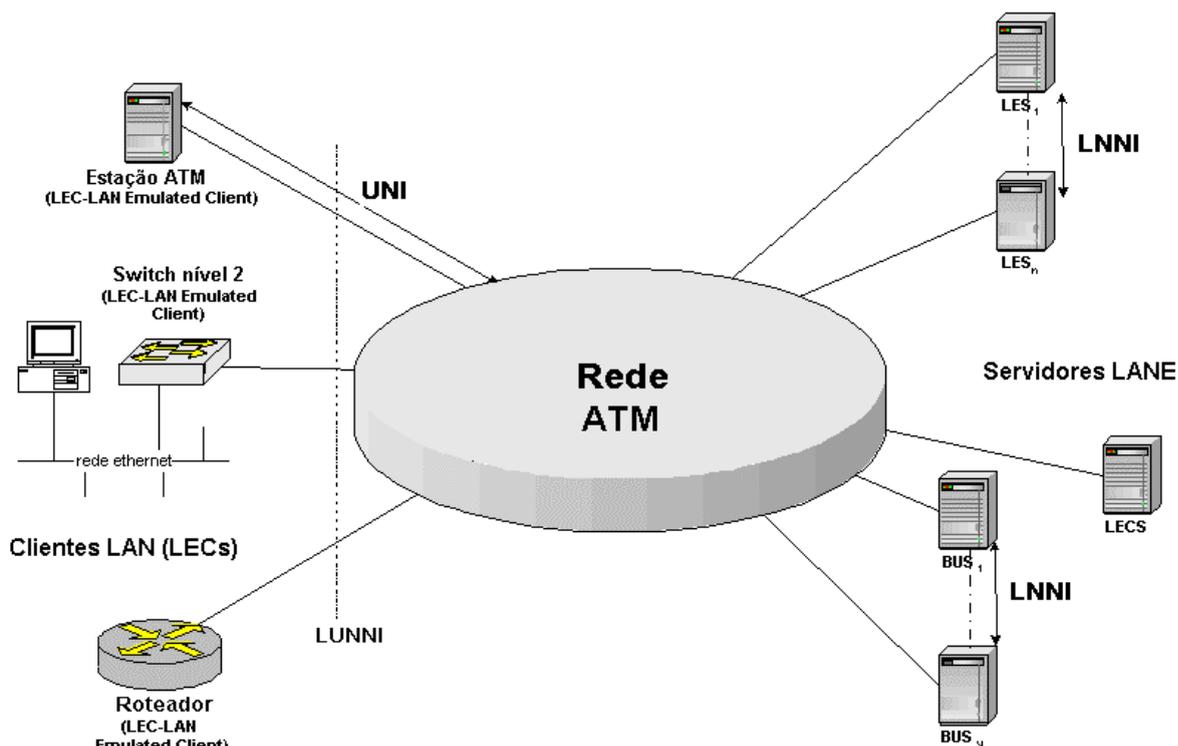


Figura 30. Estrutura do LANE

O conjunto todo mostrado na figura 31 é chamado de serviço de LAN emulada (LE Service) e pode ser implementado em uma estação da rede ou mesmo em um *switch*. O conjunto se conecta aos diversos LECs através de uma interface específica denominada de LUNI (*LAN- Emulation User to Network Interface*). Vamos detalhar a seguir cada um destes blocos quanto às suas características operacionais.

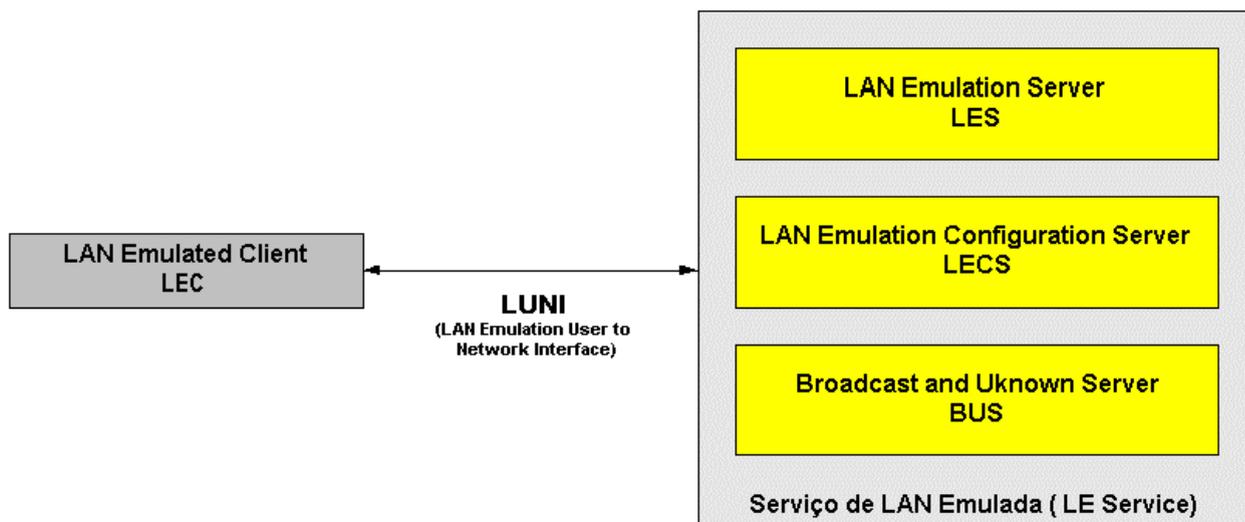


Figura 31. Estrutura dos serviços LANE[ARA 98]

LEC (*LAN Emulation Client*)

É a entidade dentro da estação que executa o envio de dados, a resolução de endereços e outras funções de controle. Ela providencia o endereço MAC para a interface de mais alto nível e implementa a LUNI (*LAN Emulation User Network Interface*) para comunicação com os outros componentes da LAN emulada.

LES (*LAN Emulation Server*)

É o coordenador das funções da LAN emulada. Registra e traduz os endereços MAC em endereços ATM, bem como providencia a descrição das rotas para os LECs da LAN emulada.

BUS (*Broadcast and Unknown Server*)

É um servidor de tráfego do tipo *multicast* usado pelos LECs para o envio de tráfego de *broadcast*, *multicast* e tráfego desconhecido. Recebe os dados enviados pelos LECs para o endereço MAC de *broadcast*. Recebe também os quadros de *unicast*, que os LECs enviam pois em princípio eles não conhecem o endereço ATM do destinatário. A resolução de endereços IP é um exemplo de tráfego de *broadcast* gerado pela LAN herdada. Outro exemplo são as mensagens de SAPs (*Service Advertising Protocol*) geradas pelo servidor Novell. O BUS e o LES trabalham juntos para providenciar o tráfego ponto a ponto e *broadcast*.

LECS (*LAN Emulation Configuration Server*)

É o responsável pela implementação da dinâmica de relacionamento dos diferentes LECs para as diferentes LANs emuladas, baseado na localização física do servidor segundo um endereço ATM.

A Interface LUNI

A LUNI (*LAN Emulation User to Network Interface*) é a interface responsável pela ligação entre um LEC e o serviço de LAN emulada (*LE Emulation*) através de PDU (*Protocol Data Unit*).

A Interface LNNI

A interface entre os elementos do serviço está definida na norma LNNI (*LANE Network Node Interface*), e aprovação pelo ATM Forum desde fevereiro de 1999.

5.1.2 Resolução de Endereços

Este protocolo permite a descoberta do endereço ATM de um LEC, que esta sendo solicitado por outro para transmissão. Esta solicitação é feita ao LES.

Quando o LEC não sabe o endereço ATM de outro LEC, com o qual ele deseja uma comunicação, o LEC de origem envia um LE-ARP para o LES solicitando o endereço do LEC de destino. Caso o LES conheça o endereço solicitado pelo LE-ARP, ele encaminha ao LEC de destino o pedido do LE-ARP, usando para isso uma conexão VCC. Se o LEC destino responder à solicitação do LES, este por sua vez reencaminha a mensagem ao LEC que originou o LE-ARP.

No caso do LES não conhecer o endereço ATM do LEC solicitado, o LES então envia um *broadcast* para todos os LECs cadastrados, contendo a solicitação de LE-ARP. O LES espera que o LEC solicitado responda ao LE-ARP. Após ter recebido a resposta do LE-ARP o LES efetua um novo *broadcast* para todos os LECs contendo agora no quadro o endereço de ATM do LEC que solicitou o LE-ARP, e também o endereço de destino solicitado. O LES espera que desta forma o LEC solicitante receba este quadro e possa efetuar a conexão com o destino desejado.

5.1.3 Transferência de dados

A transferência de dados pode ser via quadros do tipo *unicast* ou via quadros *multicast*. No caso de quadros *unicast* o LEC estará diante de duas situações:

1. LEC sabe o endereço de destino e pode estabelecer uma conexão direta via VCC com o outro LEC e transmitir os dados;
2. LEC não sabe o endereço do LEC de destino, devendo então enviar o quadro para o BUS. O BUS então fará um *broadcast*, reencaminhando o quadro para todos os LECs. Isto é importante, pois no caso de um LEC estar em uma sub-rede ligada a

um switch, e este ainda não conhecer o endereço MAC. Em paralelo, o LEC pode também enviar um pedido de LE-ARP para o LES.

No caso de quadros de *multicast* ou *broadcast*, o LEC precisa encaminhar os quadros para o BUS, que reencaminhará via conexão VCC para todos os IECs. Todos os LECs irão receber todos os quadros enviados pelo BUS, sejam eles de *broadcast*, *multicast* ou mesmo *unicast*. O LEC ao receber os quadros vindos do BUS observa o LECID, que faz parte do cabeçalho do quadro, para verificar se este quadro não foi enviado por ele mesmo, neste caso o descarta.

Cada LEC mantém um *cache* que contém o endereço MAC e o endereço ATM correspondente. Este *cache* é consultado antes do início de uma operação de transmissão de dados para ver se o endereço ATM do destino já é conhecido.

5.1.4 LANE 2.0

Uma nova versão do serviço LANE está sendo desenvolvida para melhorar o desempenho das LANs emuladas. O LANE 2.0 inclui duas partes : O *LANE User-to-Network Interface* (LUNI) 2.0 e o *LANE Network-to-Network Interface* (LNNI) 2.0.

Os novos recursos do serviço LUNI 2.0 permitem que clientes LANE façam multiplexação de diversas LANs emuladas (ELANs) através do mesmo canal virtual, reduzindo assim o número de canais virtuais necessários. Para isso está sendo incluído a utilização do esquema de encapsulamento LLC/SNAP já utilizado com o IPOA .

O serviço LUNI 2.0 melhora o suporte a qualidade de serviço (QoS), porque os administradores de rede podem especificar o tipo de serviço de tráfego. O serviço LUNI 2.0 acrescenta também suporte para a separação de tráfego em *multicast* e permite que o servidor LES repasse suas informações de dispositivo para roteadores não ATM.

O serviço LNNI é uma nova parte do LANE que proporciona uma forma padrão para a distribuição de componentes servidores LANE. O serviço LANE 1.0 não excluía essa distribuição, mas, sem um mecanismo padrão, cada fabricante precisava implementar um enfoque proprietário para suportá-la. O serviço LNNI 2.0 descreve como os componentes podem ser distribuídos e define as interfaces e protocolos pelos quais eles intercambiam controles e dados.

O objetivo do ATM Forum com a versão LANE 2.0 é que esta arquitetura distribuída habilite uma única ELAN a incluir dois mil clientes (LECs) e 20 servidores LES e BUS.

5.1.5 Características de Projeto

Embora o serviço LANE tenha sido concebido para ser compatível com as atuais LANs de meio compartilhado, os projetistas de rede ainda têm que tomar decisões que afetam a configuração e desempenho das LANs. Isto inclui o tipo de LAN emulada, tamanho máximo do pacote e a localização do servidor LES e do servidor de BUS .

Um servidor LES pode ser implementado em qualquer dispositivo ATM, incluindo servidores de arquivos, comutadores ATM e roteadores, mas somente um servidor LES é permitido para cada configuração LANE.

É tarefa do projetista de rede decidir qual servidor LES usar e onde colocá-lo para conseguir melhor desempenho, já que a principal função do servidor LES é fazer o mapeamento entre endereços MAC e ATM. Implementar o servidor LES em dispositivos que processem muitos endereços MAC pode reduzir o tráfego de mensagens LE_ARP. Equipamentos como comutadores e roteadores são as melhores opções para o servidor LES.

Similarmente, o servidor de *broadcast* (BUS) pode ser implementado em qualquer dispositivo. Como o servidor LES, apenas um servidor BUS é permitido por LANE e o projetista deve decidir onde colocá-lo. Um dispositivo ATM com conexão de alta velocidade para um comutador ATM é sempre uma boa escolha.

Uma vez que o servidor LES e o servidor BUS tenham sido selecionados, o tamanho máximo do pacote e seu tipo devem ser determinados. As LANs de meio compartilhado tem limitações físicas que restringem o tamanho do pacote. Para uma rede Ethernet, o limite é 1.516 octetos e para uma rede Token Ring é 18.190 octetos. O LAN *Emulation Working Group* do Forum ATM restringiu o tamanho do pacote para um máximo de 1.516, 4.544, 9.234 e 18.190 octetos para corresponder ao tamanho dos pacotes das LAN de meio compartilhado.

Todos os dispositivos da LAN emulada devem ser homogêneos. Aqueles que devem se comunicar frequentemente com dispositivos Ethernet devem ser configurados para o IEEE 802.3, enquanto que os que se comunicam com Token Ring devem ser

configurados para IEEE 802.5. Se há necessidade de comunicação entre ambos, como é o caso de alguns servidores ATM ou *switches* multi-LAN, então um dispositivo ATM pode ser configurado para ter compatibilidade simultânea com as LAN emuladas Ethernet e Token Ring.

O serviço LANE tem também a característica de liberar os dispositivos ATM da limitação Ethernet, Token Ring e FDDI de um único endereço MAC. Com LAN de meio compartilhado, somente um endereço MAC por adaptador e por rede é permitido. Por exemplo, para adicionar uma nova rede para um servidor Novell ou Windows NT, o usuário tem que adicionar um outro adaptador LAN para o servidor e mudar as suas configurações.

Ao contrário, dispositivos ATM com uma única interface ATM podem ter um endereço MAC para cada LAN emulada, sendo o único obstáculo o *software* de *drive* do dispositivo. Uma LAN emulada não é uma rede física mas uma rede lógica que permite diferentes tamanhos e tipos de quadros sobre um único adaptador ATM com conexão ao *switch* ATM.

5.2 IPOA (IP over ATM)

O protocolo IPOA (*IP over ATM*), descrito no RFC 1577, trata do encapsulamento e transmissão de pacotes IP através da camada de Adaptação ATM (AAL), usando o protocolo AAL5 (figura 32) . No IPOA, há basicamente um mecanismo de resolução de endereços IP para que seja identificado o endereço ATM correspondente

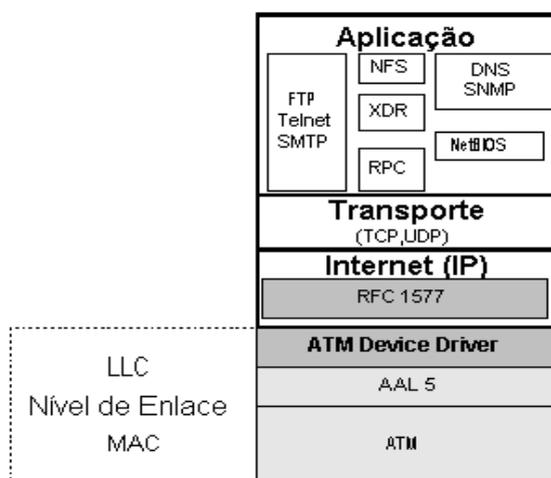


Figura 32. As camadas de protocolo do IP over ATM[SOA 95][TAN 96]

5.2.1 Endereçamento no IPOA

No IP over ATM, precisa haver a tradução de endereço IP para ATM e vice-versa. Os endereços IP têm 4 bytes e os ATM são endereçados por NSAPs de tamanho variáveis. Precisa-se de algo como o ARP (Address Resolution Protocol), mas não pode ser o ARP já que uma LAN ATM é uma NBMA (Nonbroadcast Multiple Access) LAN.

A solução é usar ATMARP em que se designa um host para funcionar como ATMARP servidor. Cada LIS tem um ATMARP server. Este sabe traduzir o endereço IP para ATM para todo host da LIS. Abordaremos a seguir os conceitos sobre LIS e a descrição do ATMARP.

5.2.1.1 LIS - Logical IP Subnetwork

Uma LIS corresponde (em acordo à RFC 1577) ao conceito tradicional de uma subrede IP, com a diferença de que os membros dessa subrede tem agora conexão direta com uma rede ATM. Em outras palavras, uma LIS consiste de um grupo de estações IP (hosts e gateways) que compartilham um mesmo endereço de rede ou subrede e que estão todas ligadas a uma mesma rede ATM.

A figura 33 ilustra duas LISs (LIS1 e LIS2) dentro de uma rede ATM. Nela também temos outros componentes da rede ATM (switches), servidores ATMARP e o roteador IP (responsável pela comunicação entre LISs diferentes).

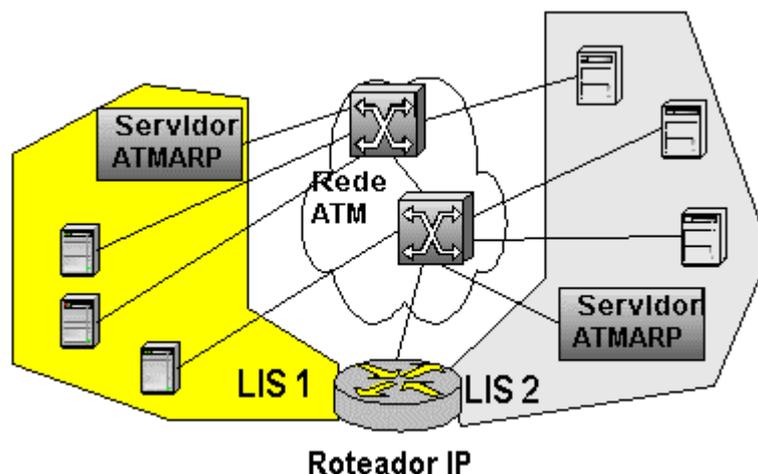


Figura 33. Como a LIS faz a comunicação[ARA 98]

A comunicação entre elementos (clientes e servidores) de uma mesma LIS é feita de forma direta, ou seja, os membros de uma mesma LIS se comunicam independentemente das outras LISs da rede ATM.

Já a comunicação entre duas LISs diferentes é feita de forma indireta. O protocolo IP Clássico sobre ATM foi especificado para trabalhar diretamente somente dentro de uma LIS. Este trabalho está agora em progresso para ultrapassar estes limites. Nestes termos, o estabelecimento da comunicação entre duas LISs deve ser feito o através do roteador.

Mesmo que seja possível abrir uma conexão virtual direta entre duas estações de diferentes LISs, toda comunicação deve ser realizada através de roteadores que interligam as duas LIS; aliás, esta é a razão pela qual o protocolo IP sobre ATM recebeu a denominação de “IP Clássico”.

Características básicas da LIS

Numa LIS encontramos as seguintes características:

- Todos os componentes (hosts e gateways) têm o mesmo endereço de subrede IP e endereço de máscara;
- Todos os membros de uma LIS estão diretamente conectados à rede ATM;
- Toda a troca de informação com componentes externos a uma LIS é feita através de gateways;
- Todos os componentes de uma LIS têm um mecanismo que permite a resolução de endereços IP em endereços ATM via ATMARP e endereços ATM em endereços IP via InATMARP quando usar SVCs;
- Todos os membros de uma LIS devem ter um mecanismo para resolver VCs para endereços IP via InATMARP quando usar PVCs;
- Todos os componentes de uma mesma LIS devem ser capazes de se comunicar via rede ATM, ou seja, a topologia é totalmente ligada;

Os roteadores que desejem prover interconexões de diferentes LISs devem ser capazes de suportar múltiplos conjuntos destes parâmetros (um conjunto para cada LIS conectada) e ser capaz de associar cada conjunto de parâmetros para um número específico de IP (de rede ou subrede).

5.2.1.2 ATMARP

Na arquitetura ATM os computadores na LIS formam circuitos virtuais entre si por meio dos quais alteram os datagramas. A presença tanto dos circuitos virtuais como dos circuitos permanentes em uma LIS torna ainda mais complicada a questão da vinculação de endereços precisando de algo como o ARP (Address Resolution Protocol), mas não pode ser o ARP já que uma LAN ATM é uma NBMA (Nonbroadcast Multiple Access) LAN.

Um protocolo ARP modificado, conhecido como ATMARP, faz a vinculação de endereços para os computadores em uma LIS conectada por um circuito virtual comutado. Os computadores de uma LIS contam com um servidor ATMARP para vincular o endereço IP de outro computador da LIS a um endereço ATM equivalente. Cada computador de uma LIS deve fazer o registro com o servidor, fornecendo seus endereços IP e ATM ao servidor. Desse modo, outros computadores podem entrar em contato com o servidor para obter uma vinculação, conforme necessário. Como no caso do ARP convencional, uma vinculação deve ser revalidada ou descartada. Um protocolo relativo ao ATMARP inverso é utilizado para descoberta dos endereços ATM e IP de um computador remoto conectado por um circuito virtual permanente.

A (figura 34) mostra duas LIS participando de uma rede ATM em que esse conjunto de computadores utilizam a rede ATM em vez de uma rede local

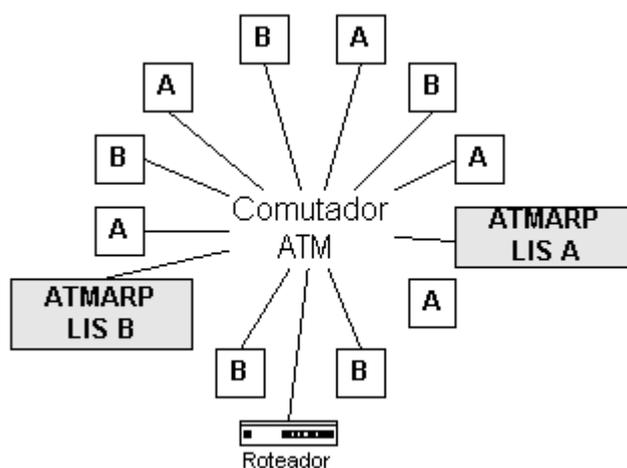


Figura 34. Subredes Lógicas IP –LIS [ARA 98]

5.2.2 Arquitetura IPOA

Para usar o serviço ATM de canais virtuais comutados SVC (*Switched Virtual Channel*)(Figura 32), 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 ATMARP.

A Figura 35 ilustra a arquitetura IPOA. O servidor ATMARP possibilita que cada estação de uma sub-rede IP (LIS) 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 em redes LANs já existentes. O servidor ATMARP mantém automaticamente em cada LIS 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 também poder ser implementado em roteadores ou comutadores ATM presentes na rede.

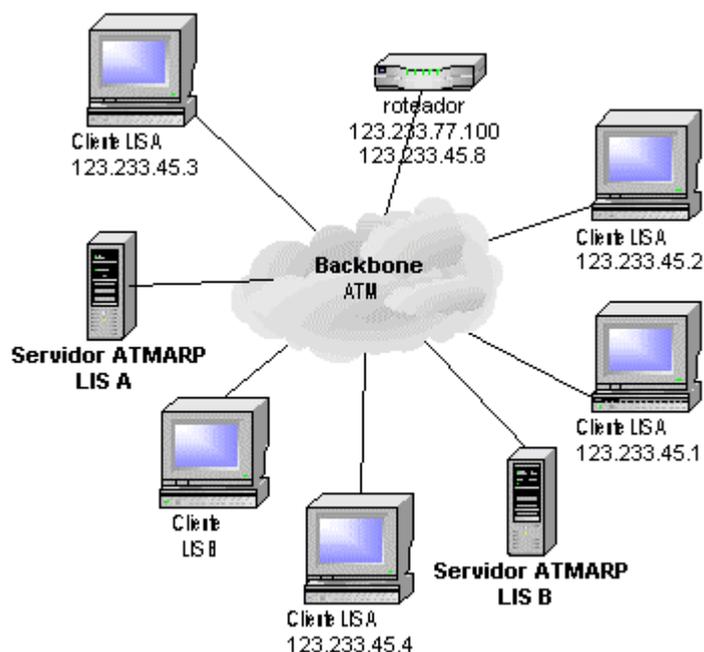


Figura 35. Arquitetura IPOA[ARA 98]

5.2.3 Funcionamento da rede IPOA

Em uma rede ATM com serviço SVC, 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 *Inverse ATMARP Request* 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 forem solicitados em um intervalo de tempo determinado. 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 protocolo *IP over ATM* 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. 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). Por outro lado, no encapsulamento efetuado pela camada MAC inferior pode haver alterações completas de cabeçalho a cada novo roteador alcançado. Pelo fato do protocolo IP comportar-se com a rede ATM da mesma forma que com outros tipos de subredes de comunicação (Ethernet, Token Ring, FDDI, *Frame Relay* e circuitos WAN), as redes corporativas que já possuem estes tipos de subredes podem facilmente incorporar a tecnologia ATM ao seu *backbone*.

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 comutador para comutador^h através da rede ATM, para que sejam remontadas em pacotes IP no destino. Ao nível da camada de Rede (IP), a rede ATM surge apenas como um novo salto, não importando o número de comutadores ATM envolvidos, da mesma forma que um circuito de telecomunicações é considerado apenas um novo salto para roteadores, não importando o número de comutadores e multiplexadores que o circuito atravessa.

5.2.4 Divisão em Subredes ATM

Na maioria dos ambientes de rede atuais, as sub-redes IP são associadas à estrutura física da rede. A sub-rede, no nível mais baixo, é geralmente um segmento LAN, provavelmente atingida por intermédio de uma ponte ou *switch*. As subredes LAN caracterizam-se pelo *broadcast* para despachar tanto pacotes *broadcast* como *unicast* ao longo da rede. As subredes LANs são implantadas geograficamente de acordo com os limites impostos pelo meio de transmissão e pelo protocolo MAC.

Por outro lado, uma rede ATM consiste de circuitos virtuais ponto-a-ponto e ponto-multiponto. Como os circuitos virtuais não têm nenhuma limitação de distância inerente (a localidade física de dois dispositivos não impede que os mesmos venham a se comunicar diretamente), tem-se que as subredes IP em ATM são baseadas em parâmetros lógicos e não físicos. A estrutura de rede ponto-a-ponto também possibilita que uma estação ATM possa se comunicar com duas ou mais estações sem a necessidade de preocupação com o tráfego de outras estações, até no caso de pacotes *multicast*.

Com este grau de isolamento entre as sub-redes IP em um mesmo meio físico, mais de uma sub-rede lógica IP pode terminar em um único adaptador físico, permitindo que um adaptador ATM substitua, por exemplo, várias placas Ethernet sem que seja necessária qualquer modificação ou combinação de subredes. Esta é uma característica que os adaptadores de rede local das tecnologias até então existentes, não podiam ter. As subredes IP lógicas em ATM podem incluir qualquer conjunto arbitrário de estações de trabalho e roteadores localizados em qualquer parte do *backbone*. Com as subredes IP em ATM pode -se obter vantagem no controle de banda, alocando-se diferentes taxas de velocidades e garantias de qualidade de serviço para cada subrede, proporcionando ferramentas poderosas para aplicações de gerenciamento da banda disponível.

5.2.5 Estabelecimento de Conexão

Na Figura 36 é ilustrado o estabelecimento de uma conexão ATM com IPOA. Quando o cliente 1 na subrede LIS A 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 (*software*) 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 desnecessário uma nova conexão.

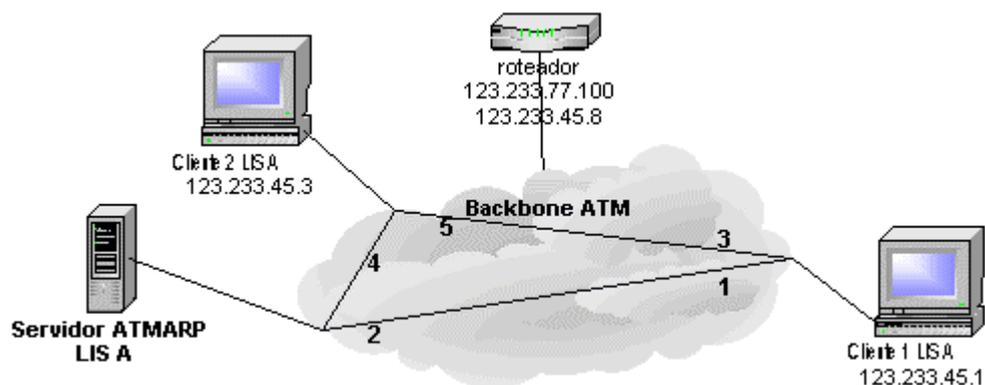


Figura 36. Exemplo de estabelecimento de conexão em IPOA[LAU 98]

O fato de ambos os clientes da sub-rede LIS A estarem cientes da conexão e dos endereços recíprocos, possibilita uma comunicação direta através do serviço SVC, sem a necessidade de mais envolvimento do servidor ATMARP.

Uma estação pode ter mais de um circuito virtual ativo simultaneamente. Um servidor de arquivos ou de *e-mail* 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 (geralmente, 15 a 20 minutos) são automaticamente desfeitas com o objetivo de liberar o adaptador de rede e tornar disponível os recursos da rede ATM para outras possíveis necessidades naquele momento.

5.2.6 Alguns aperfeiçoamentos do IP over ATM

Havia alguns problemas, algumas lacunas na especificação do IP clássico sobre ATM do RFC 1577, como a falta de meios para se implementar comunicação broadcast

ou multicast, e a necessidade do roteador para se interligar as várias LIS. A figura 37 mostra as propostas sugeridas do IP over ATM:

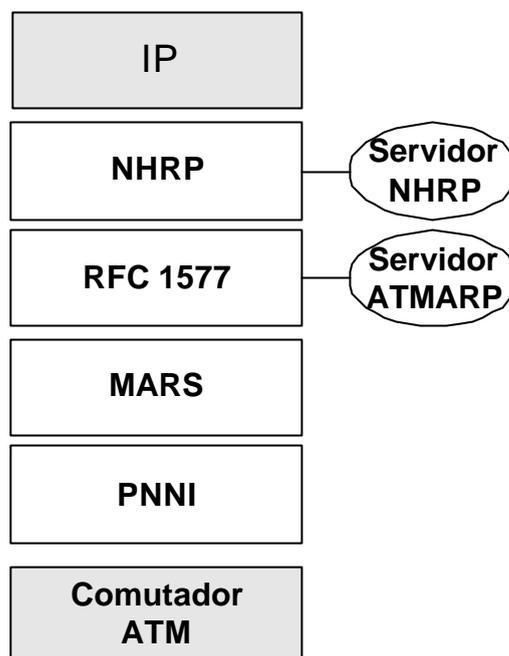


Figura 37. Alguns aperfeiçoamentos do IP over ATM

5.2.6.1 NHRP (Next-Hop Routing Protocol)

Com o NHRP, remove-se a restrição de que um host, para se comunicar com outro em uma LIS diferente, precisava de um roteador IP para fazer a ligação. Há um servidor de Next-Hop (NHS) que armazena traduções de IP para ATM para todos os hosts de uma nuvem ATM que foi decidido como sua função registrar. Se o NHS pode resolver um endereço IP, então a conexão com o destino se consegue através de um caminho inteiramente ATM, senão o NHS decide entre os roteadores IP que tem acesso qual deles é a melhor escolha para se fazer a transmissão. O NHS pode inclusive mandar pedidos de resolução de endereço para outros NHS, de um jeito que lembra o Domain Name System. Os hosts e o NHS são considerados parte de um agrupamento lógico chamado nonbroadcast multiple access (NBMA) subnetwork, que é semelhante a um LIS, mas pode englobar vários LIS.

O NHRP, claramente, aumenta a eficiência, diminuindo o número de saltos entre roteadores e reduz os passos para se resolver endereços.

5.2.6.2 MARS (Multicast Address Resolution Server)

ATM é uma tecnologia nonbroadcast, de forma que é mais difícil de se fazer broadcast e multicast em ATM. O ATMARP servidor não basta, ele não traduz endereços de classe D (multicast) para ATM.

O que se precisa é traduzir um endereço de multicast para um grupo de endereços ATM, sendo que este grupo pode ser mudado a qualquer hora, precisando sempre se atualizar as traduções.

Existem duas maneiras de se implementar a comunicação multiponto a multiponto em ATM, explorando a capacidade do comutador de estabelecer conexões ponto a multiponto, isto é, um circuito virtual com uma origem e vários destinos. Um jeito é associar um endereço de classe D com um servidor de multicast que vai fazer o trabalho de coordenar o multicast. Assim, os hosts enviam pacotes, usando unicast, para o servidor, que possui uma única conexão multicast com todos os receptores do grupo. O servidor copia os pacotes e manda para todos os receptores. No segundo jeito, cada host tem uma conexão ponto a multiponto com todos os outros hosts do grupo, de forma a emular uma conexão multiponto a multiponto.

Nas duas soluções, ou o servidor de multicast ou a fonte precisa traduzir o endereço classe D para um grupo de endereços ATM. Isto é função do servidor de resolução de endereço multicast (MARS). Um MARS opera somente dentro de uma LIS e pode ser pensado como uma extensão do servidor de ATMARP. Um MARS tem uma conexão ponto a multiponto com cada destino na LIS, de forma a saber se os receptores se juntam ou saem dos grupos, para atualizar a tradução. Com as informações obtidas, o MARS informa o servidor de multicast ou a fonte, para cada caso de solução, que tomam conhecimento do grupo de hosts para quem eles devem enviar pacotes.

5.2.6.3 Modelos PNNI e integrados

O PNNI é um protocolo de roteamento hierárquico baseado no estado dos enlaces, com múltiplas métricas de enlace, provendo vários parâmetros de QoS (Quality of Service) para uma dada situação de tráfego na rede. A seleção da rota leva em conta requerimentos de QoS.

O roteamento integrado é uma proposta para usar roteamento P-NNI como um protocolo de roteamento IP. Existem vários conjuntos de questões técnicas

que precisam ser enfocadas, incluindo a iteração de múltiplos protocolos de roteamento, adaptação do PNNI para *broadcasting*, suporte para o NHRP, e outros.

5.3 MPOA (*Multiprotocol Over ATM*) do ATM Forum.

Desenvolvido pelo ATM Forum, o MPOA (*Multiprotocol Over ATM*) [ATM 96] integra as funções de *Bridging* e *Routing* em uma rede ATM, interoperando com vários tipos de protocolos herdados, como os já citados anteriormente.

Uma das principais funções do MPOA é prover conexão fim a fim de hosts na camada inter-redes que estão diretamente ligados a rede ATM ou, a redes herdadas, que podem ou não estar usando LANE, conseguindo, desta forma, aproveitar as vantagens oferecidas pelo QoS do ATM.

5.3.1 Arquitetura MPOA

A arquitetura MPOA (*Multiprotocol Over ATM*) é um conjunto de recursos que fornece a estrutura básica para a implementação de roteamento e *bridging* ATM através de ambientes diversos no que diz respeito a protocolos, tecnologias de rede e redes virtuais (IEEE 802.1 *Virtual LANs*). Esta estrutura básica foi projetada no sentido de fornecer um paradigma unificado para o empilhamento dos protocolos da camada 3 OSI (*Open System Interconnection*) com ATM, além de reduzir a latência intrínseca ao processamento destes, através da conectividade direta entre os dispositivos ATM existentes na rede. Além disso, o MPOA é também capaz de utilizar as informações de roteamento(NHRP) e de *bridging*(LANE) para localizar o equipamento conversor LAN/ATM (*edge device*) mais próximo ao endereço da estação destinatária, aumentando assim, de forma significativa, os índices de desempenho global da rede. O principal objetivo do MPOA, portanto, é fornecer conectividade fim-a-fim entre camadas de Rede pares, através da rede ATM. As estações (*hosts*) podem estar ligadas diretamente à estrutura ATM, a uma LAN tradicional, ou ainda, a uma rede emulada LANE.

A arquitetura MPOA é mostrada na figura 38 e pode ser entendido como sendo um roteador virtual, no sentido de que o conjunto de dispositivos MPOA operando na estrutura ATM fornece a dupla funcionalidade de roteamento (serviços MPOA) e *bridging*(serviços LANE).

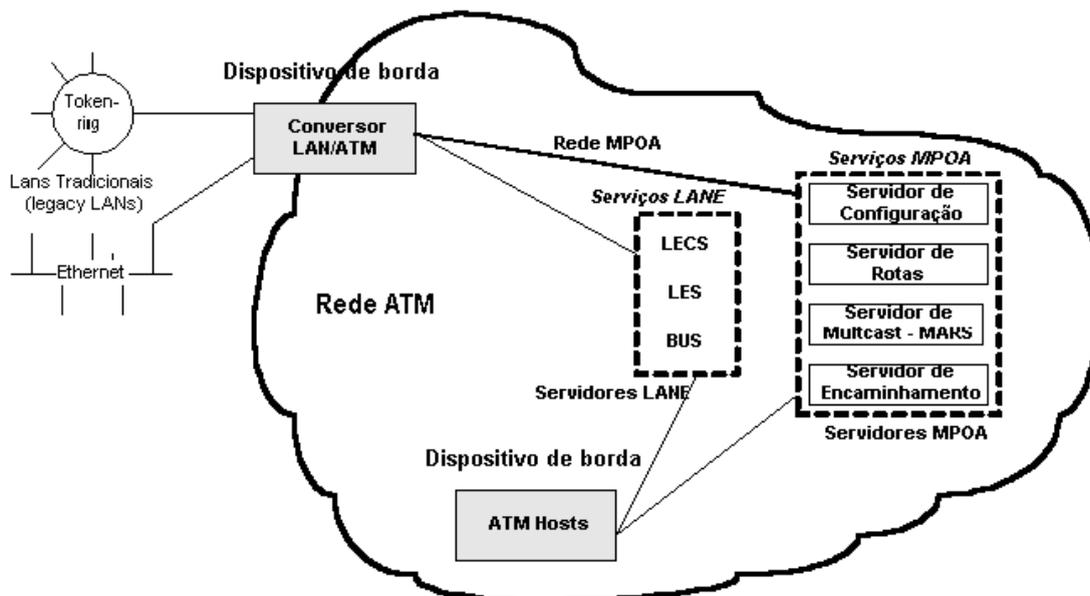


Figura 38. Arquitetura MPOA[MAR 95]

Os conversores LAN/ATM examinam os endereços de destino dos pacotes recebidos nos segmentos das LANs tradicionais e então tomam a decisão apropriada de envio. Se o pacote deve ser roteado, ele irá conter o endereço MAC da interface do "roteador virtual". Nesse caso, o conversor LAN/ATM toma o endereço nível rede do destino e o resolve para o endereço ATM correspondente através do servidor de rotas. Em seguida, o conversor LAN/ATM estabelece um circuito virtual direto até o destino. Para o caso de uma operação de *bridging*, o conversor LAN/ATM utiliza a própria LANE para resolver o endereço ATM e estabelecer o circuito virtual ao destino, conforme pode ser verificado na Figura 38. Se o servidor de rotas não conhece o endereço ATM apropriado, ele propaga a solicitação a outros servidores de rotas. Os endereços retornados pelo servidor de rotas serão sempre os endereços de um dispositivo da rede ATM.

5.3.2 Componentes do MPOA

O MPOA é composto por componentes lógicos e fluxos de informações (figura 39). Os componentes lógicos são: Cliente MPOA (MPC - *MPOA Client*) e Servidor MPOA (MPS - *MPOA Server*). Para transporte do fluxo de informações o MPOA usa o encapsulamento LLC/SNAP, segundo a proposta do IETF RFC-1483.

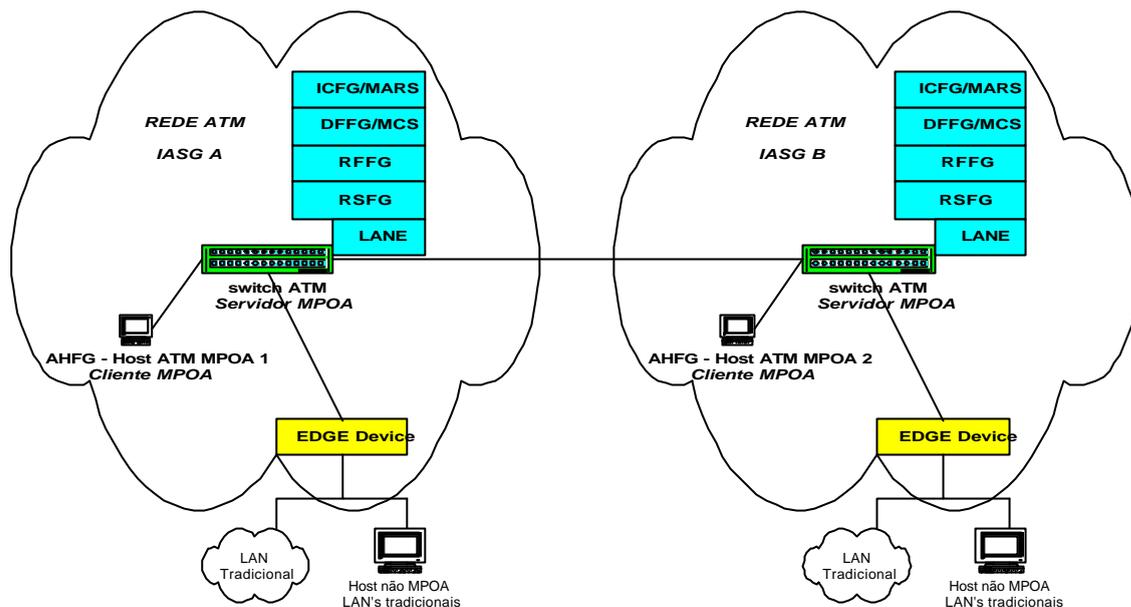


Figura 39. Componentes do MPOA: [MAR 95]

Cada cliente MPOA deve manter vários *caches* locais, que irão conter informações sobre o mapeamento do endereço das estações para o estabelecimento de conexão ATM sobre os quais irão ser 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.

O Servidor MPOA é formado por um grupo de funções de comunicação inter-redes em uma rede MPOA, incluindo também o NHS (Next Hop Server) [IET96] com extensões. O MPS mantém uma tabela com todos os endereços MAC das estações pertencentes ao IASG que ele serve [DOR96].

- **IASG - Internetwork Address Sub Group:** que pode ser visto como um conjunto de endereços ou uma subrede como nas redes IP.
- **ICFG - IASG Coordination Functional Group:** É o grupo de funções que são executadas para coordenar a distribuição de um único IASG para as portas de LANs herdadas em um ou mais EDFG ou em um ATM *device* [DOR96].
- **EDFG - Edge Device Functional Group:** É um *hardware* capaz de enviar pacotes entre interfaces de redes herdadas e interfaces de estações ATM tanto para nível 2 ou 3, podendo ou não participar do roteamento de uma ou mais camadas. O EDFG implementa funções de reencaminhamento de

pacotes a nível 3 porém, não executa nenhum protocolo de roteamento [DOR 96]. Ele pode ser de dois tipos *simple* e *smart* [DOR 96]. O EDFG necessita ter um proxy LEC residente e funcionando.

- ***RSFG - Route Server Functional Group***: O Route Server é um conjunto de funções que torna possível mapear endereços de uma IASG de uma camada de rede para o ATM. Ele pode ser implementado sozinho ou pode ser um software que faz parte de roteadores ou switches. Ele também pode rodar protocolos tradicionais de roteamento, como OSPF, RIP e EGP, para se comunicar com os roteadores tradicionais e conseguir manter a interoperabilidade com os mesmos. Outra função será a de servir para troca de informação a nível 3 de um *Edge devices* à outro *Edge device* ou para um *Host ATM*, ou entre os *Host ATM*.
- ***DFFG - Default Forwarder Function Group***: Ele providencia o reencaminhamento *default* para o tráfego destinado para dentro ou para fora da IASG. O DFFG age como um servidor de multicast baseado no MARS do IETF. Ele também fornece a função de *LAN Emulation proxy* para os AHFG que não possuem, afim de poderem mandar e receber tráfego das LANs herdadas.
- ***RFFG - Remote Forwarder Functional Group*** : É o conjunto de funções executadas em associação como o reencaminhamento do tráfego de uma origem a um destino, que pode ser um IASG ou um cliente MPOA. O RFFG pode ser comparado ao *default Router* da redes Ipv4 [DOR 96].
- ***AHFG - ATM Attached Host Functional Group***: são hosts ATM que implementam o protocolo MPOA, podem se comunicar entre si ou mesmo com LANs herdadas através do *Edge Device*.

O MPOA utiliza o AAL5 para transferência de dados e, para sinalização, usa o padrão estabelecido pela UNI 3.1 [ATM 94], provendo também suporte para o novo padrão de sinalização UNI 4.0, que deverá ser lançado em 1997, segundo o ATM Forum.

5.3.3 Fluxos de informação entre os componentes lógicos

Os fluxos de informação entre os componentes podem ser vistos na figura 40:

- **Configuração** : Onde os clientes estabelecem VCCs com os servidores para receber e registrar informações de configuração .
- **Transferência de dados** : É a conexão direta via VCC entre dois clientes MPOA, ou seja o objetivo final do MPOA.
- **Cliente a Servidor**: É usado pelos clientes para pedir e enviar informações aos servidores. Estes fluxos podem ser:

RSFG Control (RSCtl) : É usado pelos clientes MPOA para obter informação do *Route Server* (RSFG) na tentativa de resolver o endereço de nível 3 em endereço ATM, necessário na transmissão de dados inter-IASG.

ICFG Control (ICCtl) : Utilizado pelos clientes MPOA para a obtenção de informação do ICFG para a resolução de endereços de fora da IASG.

- **Servidor a Servidor** : Estes fluxos são usados pelos servidores para atualizarem e serem atualizados por outros servidores. Podem ser de dois tipos:

RSFG-to-RSFG (RSPeer) : Que é usado pelo RSFG para reencaminhar pedidos de resolução de endereços de destinos para ocupantes de uma IASG que não é servida pelo RSFG original.

ICFG-to-ICFG (ICPeer) : É usado pelo ICFG para distribuir informações sobre a topologia para todos os ICFGs que servem ao IASG em questão.

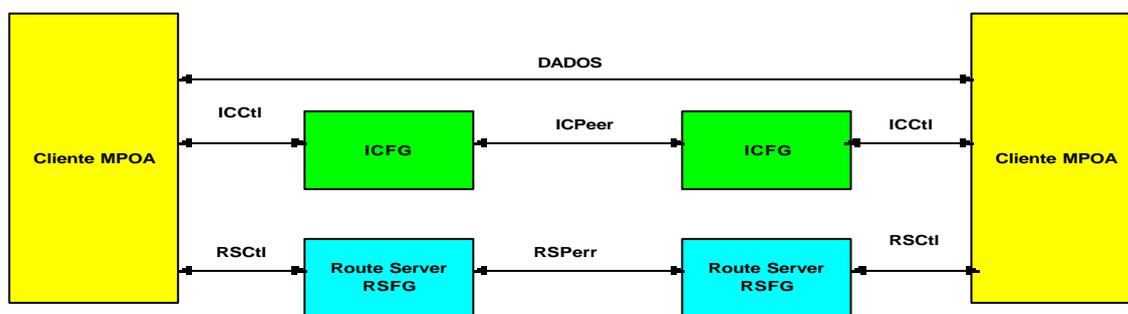


Figura 40. Fluxo de informação entre os componentes do MPOA[DOR 96]

5.3.4 Modelos de endereçamento e sinalização do MPOA

Os modelos de endereçamento usados pelos MPOA:

- **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. Ele separa as informações sobre camadas usadas pelo ATM das duas camadas acima.

5.3.5 O MPOA em operação

O MPOA em sua operação oferece interoperabilidade entre LANs tradicionais herdadas e uma rede ATM conforme um modelo de interoperabilidade que apresentamos na figura 41. Nesta operação o sistema MPOA passa por diferentes fases que passaremos a descrever a seguir:

- **Configuração** : Garante que todos os grupos funcionais tenham sido inicializados corretamente com informações sobre o sistema. Envolve os MPS que fazem uma sincronização das bases de dados com informações relacionadas ao tipo de protocolo, quais membros pertencem a rede emulada, endereço ATM e MAC dos clientes MPOA, tamanho de MTU além de outros parâmetros menores que podem ser vistos em [DOR 96].

- **Registro e descoberta** : Registro serve para que os grupos ligados ao sistema MPOA possam se conhecer, saber da funcionalidade de cada um (servidor ou cliente), da existência e do endereço ATM. Descoberta para que os EDFG informem aos ICFG sobre as estações de LANs herdadas que estão ligadas a ele. Estes 2 mecanismos garantem ao sistema MPOA que os componentes tenham total conhecimento da topologia à qual eles estão ligados tanto a nível 3 como nível 2.
- **Resolução de endereços MPOA**: É a função para determinar a rota de destino para um endereço de uma camada inter-rede. Este mecanismo é usado para o estabelecimento dos atalhos que são usados para a transmissão de dados. O MPOA usa uma versão estendida do NHRP para permitir que os clientes determinem qual o endereço ATM para o estabelecimento dos atalhos.
- **Transferência de dados**: É a transferência de dados de um cliente MPOA para outro. Que pode ser feita de duas formas, sendo a primeira pelo modo *default* que é feito via LANE (LAN Emulation) e o outro através de um atalho que é feito através do mecanismo de cache existente nos clientes MPOA.

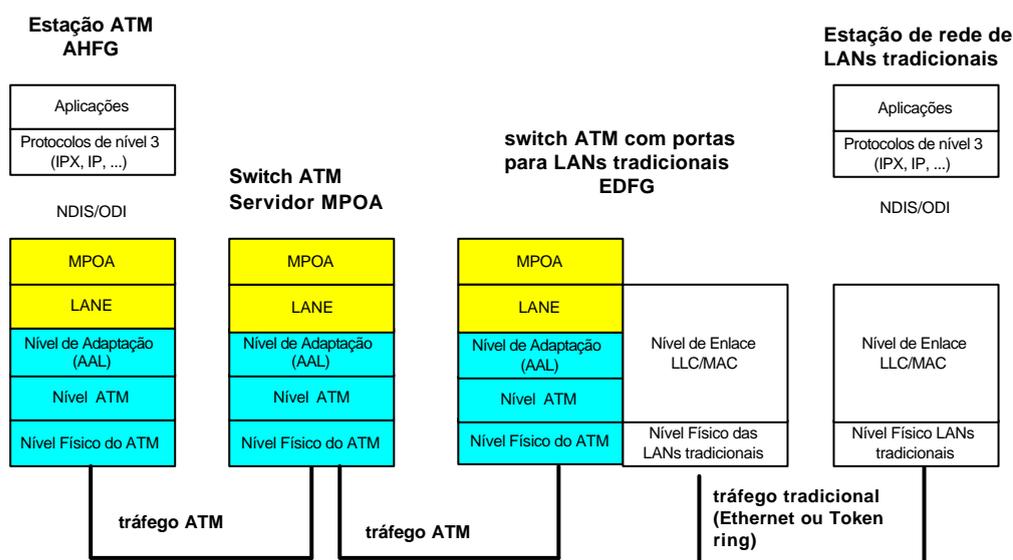


Figura 41. Modelo de referência para interoperabilidade do MPOA [ROC 98]

- **Coordenação Intra-IASG** : Esta função permite que as IASGs possam ser distribuídas em múltiplas interfaces físicas.

- **Suporte a Protocolos de Roteamento:** Esta operação permite que o sistema MPOA interaja com roteadores de redes convencionais.
- **Suporte a Spanning Tree:** Permite que o sistema MPOA interaja com LANs tradicionais estendidas, redes que usam o esquema tradicional de *bridging*. Cada *Edge device* tem suporte para o algoritmo de *spanning tree* segundo a especificação do IEEE 802.1D.
- **Suporte a replicação:** Prevê a replicação de componentes para melhor desempenho e disponibilidade do sistema MPOA.
- **Tráfego de *broadcast* e *multicast*:** Para esta função é utilizado o esquema proposto pelo IETF na RFC 1755 MARS (*Multicast Address Resolution Server*) [IET96a].

5.4 Conclusão

Está bem clara a necessidade de se construir modelos para se interconectar as redes tradicionais com as ATM e de se fazer a tecnologia ATM conviver com as outras tecnologias, que são importantes no mercado e são já bem conhecidas. É vontade de muitos instalar uma infra-estrutura plenamente ATM, mas atualmente simplesmente não dá. Afinal, o ATM é uma alternativa mais revolucionária do que evolutiva, e, como tal, vai demorar a se sobrepôr às outras.

Diante disso, a solução IP over ATM se mostrou simples e prática, se comparadas com outras como a LANE, que possui uma camada a mais.

No IP over ATM, o ATM funciona como a camada enlace, sobre a qual se implementa o protocolo IP. Então para se interligar várias subredes lógicas, deve-se usar roteadores pois atendem os serviços da camada de rede.

Redes IP são as redes mais comuns de comutação de pacote no mundo e o IP over ATM leva em conta isso, se mostrando uma forma de adaptação suave para o ATM. Continuará atendendo as aplicações que usam IP, além de deixar se interconectar com as redes da Internet.

No próximo capítulo, faremos um estudo comparativo de todas as tecnologias estudadas.

Capítulo 6 Estudo Comparativo

Como apresentado nos capítulos anteriores, existem várias opções de integração do IP sobre a Tecnologia ATM. Cada opção tem vantagens e desvantagens e fornecem diferentes serviços. Os projetistas do sistema de comunicações deve conhecê-los para escolher a melhor solução de maneira a atender os requisitos do sistema em questão.

Este capítulo apresenta um paralelo entre as principais técnicas de integração de IP sobre ATM apresentadas nesta dissertação, apresentando as vantagens e desvantagens de cada uma destas tecnologias. Além disso, este capítulo apresenta os critérios de seleção visando auxiliar os projetistas de rede na escolha da melhor solução de integração IP sobre ATM levando em consideração os requisitos específicos de cada projeto de rede de computadores. A perspectiva é que todos os projetistas de rede que pretendam aumentar o campo de ação das redes IP além do domínio de uma LAN possam se utilizar deste trabalho como fonte de conhecimento e aprimoramento

6.1 Descrição das principais vantagens e desvantagens.

As tecnologias estudadas possuem algumas características significativamente distintas em relação a outras, o que poderá justificar um investimento nesta ou naquela tecnologia, principalmente em ambientes de LAN.

A seguir serão apresentadas as principais vantagens e desvantagens das principais soluções de integração de IP sobre ATM.

6.1.1 IPOA

IP over ATM (IP over ATM) – protocolo da IETF, é o mais simples dos protocolos de integração porque restringe seu campo de atuação ao encapsulamento e transmissão de pacotes IP através da camada de Adaptação ao ATM (AAL) usando o protocolo AAL-5. No IP over ATM, há basicamente um mecanismo de resolução de endereços IP para que seja identificado o endereço ATM correspondente.

6.1.1.1 Vantagens

As principais vantagens do IPOA são:

- Não requer nenhuma alteração na infra-estrutura tradicional de roteamento, o roteamento pode ser feito da mesma forma que o tradicional, onde os pacotes são enviados do remetente para um roteador e deste para outros possíveis roteadores até que o destino seja alcançado.
- Uma estação pode ter mais de um circuito virtual ativo, pois mais de uma sub-rede lógica IP pode terminar em um único adaptador físico, permitindo que um adaptador ATM substitua, por exemplo, várias placas Ethernet sem que seja necessária qualquer modificação ou combinação de sub-redes
- 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 também poder ser implementado em roteadores ou comutadores ATM presentes na rede. Pode-se fazer com que uma estação seja eleita o servidor ATMARP, reduzindo os custos com aquisição de equipamentos dedicados.
- As sub-redes IP lógicas em ATM podem incluir qualquer conjunto arbitrário de estações de trabalho e roteadores localizados em qualquer parte do *backbone*. Como os circuitos virtuais não têm nenhuma limitação de distância inerente (a localidade física de dois dispositivos não impede que os mesmos venham a se comunicar diretamente), tem-se que as sub-redes IP em ATM (LIS) são baseadas em parâmetros lógicos e não físicos.
- Gerenciamento da banda disponível. Com as sub-redes IP em ATM pode-se obter vantagem no controle de banda, alocando-se diferentes taxas de velocidades e garantias de qualidade de serviço para cada sub-rede, proporcionando ferramentas poderosas para aplicações de gerenciamento da banda disponível.
- Se a rede ATM é uma rede que usa o protocolo de rede IP em sua totalidade, talvez composta de estações de trabalho UNIX e servidores de arquivos interconectados por roteadores IP, IPOA é a escolha óbvia, pois o tamanho do pacote e o baixo *overhead* do protocolo tende a prover melhor desempenho para as aplicações

6.1.1.2 Desvantagens

As principais desvantagens do IPOA são:

- Utilizar roteadores para a comunicação com hosts fora da rede lógica LIS. Esta situação é indesejada, pois os roteadores introduzem atrasos em função deles desmontarem e remontarem pacotes IP, e esses atrasos aumentam de acordo com a quantidade de roteadores.
- Limita o potencial ATM, porque não há um meio de comutar o tráfego entre sub-redes e uma rede ATM.
- Utilização de drivers de redes em todas as estações.

6.1.2 LANE

LAN Emulation ou LANE, é um padrão do Forum ATM que suporta pacotes de LAN 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 se comunicar sem nenhuma modificação, inclusive com os dispositivos ATM, mantendo compatibilidade com os protocolos de redes tradicionais (por exemplo Ethernet/IEEE 802.3 e Token Ring/IEEE 802.5).

6.1.2.1 Vantagens

As características positivas do LANE são as seguintes:

- A principal vantagem do LANE é que ela se diferencia dos outros esquemas de IP sobre ATM descritos neste trabalho, pois é a única que para manter compatibilidade com os protocolos de redes tradicionais (por exemplo, Ethernet/IEEE 802.3 e Token Ring/IEEE 802.5), usa a camada ATM da mesma maneira que é utilizada a camada MAC, a fim de minimizar mudanças necessárias para a migração para ATM.
- A configuração de uma máquina que vai participar da ELAN é a mesma que nas redes convencionais (configuração dos parâmetros do IP –endereços estação – gateway default, etc..)

6.1.2.2 Desvantagens

As principais desvantagens do LANE são:

- Por esconder a operação da rede ATM das aplicações dos usuários o suporte a QoS é comprometido, pois a rede deve ser comportar exatamente como uma LAN convencional.
- Necessita de roteadores ou ponte para intercomunicação de ELANs, provocando um aumento da utilização da rede. Não tendo com isso grande escalabilidade;
- Grande overhead, devido a introdução de equipamentos como roteadores que geram uma sobrecarga de dados de protocolos necessário ao envio de informações úteis ao host.
- Complexidade na configuração dos servidores (LECS, LES eBUS), onde a topologia da rede deve ser previamente conhecida.
- A rede pode deixar de operar caso um dos servidores venham a falhar.

6.1.3 MPOA

A especificação MPOA do ATM Forum foi desenhada em uma arquitetura cliente/servidor e possui grande aceitação de mercado com implementações em equipamentos de vários fabricantes. Desde que nasceu, várias evoluções foram contempladas sobre o MPOA pelo Fórum ATM.

6.1.3.1 Vantagens

As principais características positivas do MPOA são as seguintes:

- Transferência eficiente entre sub-redes IP num ambiente de LANE, ou seja, ele permite que comunicação entre as camadas de rede seja feita sobre VCC's (Virtual Channel Circuit) ATM, sem a necessidade de roteadores no caminho dos dados, mesmo num cenário de diversos protocolos.
- MPOA é capaz de usar tanto informações de roteamento como *bridging*, para localizar a melhor saída da rede ATM.
- facilita o gerenciamento, na medida que o número de dispositivos da rede que precisam ser configurados .
- 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;

- É baseada em um padrão, assim a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes é possível;
- É atualmente disponibilizado por vários vendedores;
- Baixa latência na transmissão de unidades de transmissão da camada 3, devido à redução da complexidade dos dispositivos da rede, através da eliminação da necessidade do cálculo do roteamento;

6.1.3.2 Desvantagens

Há alguns pontos negativos que devem também ser apresentados.

- há repetição de funções executadas na camada 3 e camada 2 (característica inerente ao modelo de sobreposição), onde precisa-se traduzir o endereço MAC para endereço ATM.
- requer o desenvolvimento de protocolos novos para comunicar informações.

6.1.4 MPLS

A tecnologia denominada MPLS (MultiProtocol Label Switching) é o resultado do trabalho de um grupo de trabalho do IETF com intuito de fornecer um padrão para endereçar problemas de desempenho de roteamento e repasse de pacotes na camada de rede. O fato de ser a mais recente das técnicas estudadas, também a favorece no sentido de evitar problemas encontrados com as soluções anteriores. O MPLS está num estágio mais inicial do processo de padronização.

6.1.4.1 Vantagens

Os principais pontos positivos desta tecnologia são:

- Uma das vantagens do MPLS é a modificação do paradigma fundamental hoje existente nas redes IP: a superposição de um rótulo ao datagrama tem a propriedade de imprimir à comunicação uma característica de “orientação a conexão”. Isto permite o aumento da agilidade no encaminhamento de pacotes, proporcionada pela inspeção de etiquetas denominado roteamento explícito, onde os pacotes são analisados somente na borda de um domínio MPLS;
- Simplificação na interoperabilidade de redes IP não ATM e redes IP ATM, possibilitando o mapeamento de requisitos IP QoS em rede IP sobre ATM, pois

tanto em rede não ATM como em redes ATM o MPLS atua como arquitetura única de encaminhamento de pacotes;

- É uma proposta de padrão a ser adotada por fabricantes diferentes, evitando problemas de interoperabilidade entre soluções proprietárias;
- Suporte a implementação de VPN (Virtual Private Network) em ambientes de grande escala, com simplificação de gerenciamento, incremento de desempenho e suporte a IP QoS;

6.1.4.2 Desvantagens

As principais desvantagens do MPLS são:

- apresenta problemas de latência no repasse do pacote, devido ao fato de ter que armazenar em buffers pacotes com o mesmo rótulo e consequentemente correspondentes à mesma entrada nas FEC's e nas LIB's;
- em redes IP sobre ATM possui problemas na implementação do traceroute (ferramenta bastante importante que mostra o caminho a ser seguido por um pacote na rede).

6.2 Estudo comparativo

Esta sessão possui como objetivo estabelecer um estudo entre as propostas de integração de protocolos de suporte à Internet (IP, TCP, UDP) com a tecnologia ATM: Emulação de Rede Local (LANE), IP Clássico sobre ATM e Multi-protocolo sobre ATM (MPOA) e MPLS .

A idéia de se criar mecanismos de adaptação dos protocolos de rede atualmente em uso em redes do tipo Ethernet, Token Ring e FDDI à camada ATM surge da necessidade de manter-se a compatibilidade e a interoperabilidade entre os equipamentos de redes locais e de longa distância (LANs e WANs), que ocupam um vasto parque de instalações a nível mundial, com os novos equipamentos ATM que agora estão sendo introduzidos no mercado. Sendo assim, avalia-se as propostas de adaptação ao ATM segundo os critérios de compatibilidade com as tecnologias existentes, escalabilidade e oferta aos usuários finais dos recursos de maior largura de banda, velocidade, confiabilidade e garantias de qualidade de serviço (QoS) característicos do ATM. Verifica-se também quais seriam os problemas apresentados

em cada proposta e a expectativa de emprego das mesmas face aos vários perfis de redes a que se destinam.

6.2.1 Interoperabilidade/Padronização

Como é improvável a atualização de uma rede inteira para ATM, as redes mistas ATM/LAN são exigidas freqüentemente quando o ATM é utilizado para a camada de rede. As soluções para integração do ATM com os protocolos existentes incluem LANE, IPOA, MPOA e MPLS.

O primeiro ponto a ser discutido é que, enquanto o MPOA, LANE e IPOA são tecnologias padronizadas cujos documentos técnicos já se encontram disponíveis em suas primeiras versões, o MPLS Working Group foi criado no início de 1997 e desde então tem produzidos documentos que vem sendo discutidos na definição do MPLS como um padrão de fato. Praticamente todas as tecnologias citadas procuram de alguma forma oferecer uma interoperabilidade com o protocolo IP visando resolver alguns problemas de topologias de redes encontradas nas diversas empresas.

6.2.2 LANExIPOAxMPOA

A LANE é um padrão para emulação de protocolos LAN como Ethernet e Token Ring em uma rede ATM. A LANE fornece suporte para funções típicas de LANs, como o envio de estruturas de difusão e multicast. A LANE pode ser introduzida em um projeto de rede dentro de uma rede de backbone que se conecta a redes Ethernet ou Token Ring. Essa abordagem não requer nenhuma mudança nas configurações de estações de trabalho e minimiza o impacto sobre os usuários finais. Alternativamente, a LANE pode ser usada em estações de trabalho que tenham sido atualizadas com uma placa de rede ATM (NIC ATM). A LANE fornece um passo intermediário quando o plano final é migrar para aplicativos ATM nativos ou para soluções MPOA. [OPP 98].

Para a conexão entre hosts em ELANs distintas, o serviço de emulação de rede local exige o emprego de roteadores tradicionais entre as ELANs, o que pode ser interpretado como um "gargalo" do sistema, já que tais equipamentos não tem a capacidade de chaveamento correspondente à dos switches ATM (que operam a taxas de até 10 Gbps).

Há também desperdício de recursos da infra-estrutura ATM no sentido de que, para inter- conectar-se hosts ligados à malha ATM mas em ELANs distintas faz-se

necessário o estabelecimento de canais virtuais (VCCs) dos hosts até o roteador, quando poderia-se empregar um único canal virtual direto entre os mesmos; e também com relação ao não-uso das características de QoS que o ATM proporciona para cada conexão virtual, uma vez que o mapeamento da camada de enlace (MAC) por ser não-orientada a conexões, aponta para as categorias de taxa de transmissão disponível (ABR) e taxa de transmissão não especificada (UBR), não fazendo uso das categorias taxa constante (CBR) e variável (VBR), próprias para o suporte a aplicações de multimídia.

O IP over ATM, também denominado de IP Clássico, é um protocolo que foi projetado pelo IETF – Internet Engineering Task Force - para soluções de projetos de redes LANs ou WANs com ATM. A maior vantagem do IP Clássico é a sua simplicidade. Ele suporta aplicações de redes existentes sem modificações, mas é focalizado exclusivamente na permissão de tráfego ATM para ser executado sobre redes IP. Esta é uma restrição do IP Clássico, pois se o protocolo primário da rede a ser integrada à ATM não for o IP, ele não será capaz de carregar o tráfego.

A denominação “IP Clássico” é explicada porque este protocolo reproduz o comportamento das redes TCP/IP tradicionais. Ou seja, a comunicação entre terminais de diferentes subredes lógicas (LIS), necessariamente, deve ser feita através de um roteador IP.

O MPOA é um padrão do ATM Forum que fornece uma estrutura para sintetizar pontes, comutação e roteamento em um ambiente de diversos protocolos, tecnologias de rede e LANs virtuais. O MPOA padroniza o encaminhamento de pacotes da camada 3 entre sub-redes em um ambiente ATM LANE.

A proposta MPOA resolve muitos dos problemas de interconexão com segmentos de rede tradicionais e hosts ligados diretamente à malha ATM, atendendo a conexões de camada de enlace ou de rede. Permite o estabelecimento de conexões diretas entre hosts em subredes lógicas distintas (conexões de atalho), sendo o cálculo de rotas realizado por um agente centralizado, que é o Route Server. Tal centralização do servidor de MPOA garante ao sistema a propriedade de escalabilidade e redução de latência no uso de conexões virtuais, a níveis bem melhores do que nas propostas de LANE e IP Clássico sobre ATM, porém introduz um novo problema: o servidor de rotas, sendo centralizado, é o responsável pela correte e confiabilidade de todas as

informações do sistema, devendo estar sempre ativo na atualização das tabelas de acesso dos dispositivos de borda e a salvo de falhas - que poderiam comprometer de forma drástica os serviços prestados pela arquitetura de redes empregando MPOA.

Considera-se entretanto que, das propostas avaliadas até o momento, o MPOA é a que melhor atende aos requisitos de compatibilidade com a vasta gama de equipamentos (hubs, roteadores, hosts) de redes existentes e protocolos de rede correspondentes, podendo inclusive propiciar aos usuários finais características de QoS nas conexões virtuais da malha ATM, já que também protocolos a nível de camada de rede como o RSVP (definido pelo IETF) são suportados pelo sistema, além de poder contar-se com a expressiva performance de velocidade e confiabilidade da transmissão de células do ATM.

Das tecnologias do modelo de sobreposição, MPOA possui um encaminhamento de pacotes mais rápido em relação a outras propostas como LANE do ATM Fórum e IP Clássico da IETF, nessas últimas, a cada nodo, o pacote deve ser roteado, o que não acontece com o MPOA, onde o roteamento do datagrama somente ocorre no início da comunicação. Porém, a sinalização ATM ocorre independente do roteamento IP em redes MPOA. A tabela mostra um resumo da comparação entre essas tecnologias.

IPOAxLANExMPOA

	Implementação	comunicação entre sub-redes	compatibilidade com outros protocolos (IPX, NetBIOS, etc..)	alterações nos dispositivos	QoS	Escalabilidade	custo
IPOA	Simple	Roteador	não, somente IP	necessita, pois utiliza NIC ATM	em desenvolvimento	complexa, recomendado para pequenas redes	baixo
LANE	médio	Roteador	sim	não necessita	não implementa	não recomendado, pois algumas situações (broadcast) consomem todo recurso da rede	elevado
MPOA	complexo	Roteador embutido (roteador virtual)	sim	não necessita	implementa	simples, recomendada para pequenos backbones	elevado

Tabela 5. Estudo comparativo entre IPOAxLANExMPOA

6.2.3 MPLS x MPOA

Primeiramente, deve-se observar que estas técnicas são excludentes, ou seja, o uso de uma delas significa a não utilização de outra. Isto pois elas tentam endereçar os mesmos problemas. Além disso, elas foram concebidas em épocas distintas e por organizações diferentes. Esses fatores introduzem claramente grandes diferenças que são resumidas na tabela 6.

De certa forma, quando uma tecnologia nasce, ela tenta evitar os problemas encontrados pela anterior, o que a torna, sobre alguns aspectos, mais viável, novos problemas são encontrados e que deverão ser resolvidos com o amadurecimento da pesquisa no que compete a essa tecnologia ou a outras que venham nascer posteriormente.

MPOA é mais antigo que o MPLS, já possui bastante aceitação de mercado e implementações em equipamentos de vários fabricantes. Desde que nasceu, várias evoluções foram contempladas sobre o MPOA pelo grupo do ATM Fórum responsável. Pelo fato do MPOA ser baseado em um modelo overlay a latência de encaminhamento de pacotes é maior em relação ao MPLS.

Apesar do MPLS ser uma solução bastante jovem, já aparece como protótipo de implementação em alguns equipamentos do mercado, e tem também, alguns objetivos similares ao MPOA:

- Particionamento do conjunto dos possíveis pacotes em conjuntos de classes equivalentes (FEC – Forwarding Equivalence Clases)
- Mapeia cada FEC para o próximo salto (hop)

Devido a problemas de escalabilidade, MPOA é mais indicado para backbone menores e não para backbones grandes como a Internet. Isto deve ao fato de MPOA ser uma implementação de modelo overlay. Isto coloca MPOA com uma carga de gerenciamento de um grande de número de VC's. MPLS já foi projetado para contemplar os problemas de escalabilidade existentes em grandes backbones.

De modo geral, as ferramentas existentes para roteamento IP são poucas. MPLS representa uma grande evolução para os mecanismos de roteamento e transporte IP. O "casamento" produtivo entre MPLS e ATM aproxima eficientemente o IP do ATM . Apesar de ainda haver diversos estudos a ser feito a respeito de MPLS, ela parece ser a técnica que possui um futuro mais promissor entre as apresentadas neste trabalho.

6.2.4 Escalabilidade

Outro ponto importante a considerar é a questão da escalabilidade, que é muito importante sobre qualquer esquema IP em ATM. Quando nos movemos de uma rede em um pequeno campus para considerar rede nacionais ou internacionais, temos que estar certos que o mecanismo que escolhemos para o desenho da rede deve suportar escalabilidade. Na realidade, o único jeito que isso pode ser provado é por experiência. Apenas quando grandes redes são implementadas é que podemos certificar a escalabilidade de qualquer tecnologia. Essa é uma das razões da aceitação do MPOA em comparação ao MPLS.

Devido a problemas de escalabilidade, as soluções baseadas em sobreposição (IPOA e LANE) são mais indicadas para backbone menores e não para backbones grandes como a Internet. MPOA e MPLS foram projetados para contemplar os problemas de escalabilidade existentes em grandes backbones.

6.2.5 QoS em IP sobre ATM

Com a competição hoje na indústria de rede, a eficiência em nossas redes dependerá da demanda que ofereceremos para atender as necessidades de cada usuário, para isso temos que atender os objetivos deles, isto poderá ser alcançado oferecendo Qualidade de Serviço. QoS é uma questão imprescindível, pois é medida pelas perspectivas do usuário final do serviço.

O MPLS usa a seguinte abordagem “Use roteamento uma vez e use comutação a seguir”, onde a comunicação entre estações e sub-estações separadas flui inicialmente por roteadores, mas o tráfego subsequente é “desviado” para um caminho mais rápido através de comutadores. Esta técnica varia na forma de como o “shortcut” ou acesso direto são iniciados, através da análise do tipo de fluxo ou na topologia da rede. Com isso, consegue uma (“quase”) qualidade de serviço (QoS) em ambientes baseados no IP. O que não ocorre nos modelos de sobreposição, onde são analisados somente os endereços origem e destino (camada 3), não analisando o tipo do tráfego (ex. ftp, html, smtp,etc..), consegue-se comutação de alta velocidade entre estações da mesma sub-rede independente da localização geográfica, mas necessita de roteador(s) para mover tráfego entre sub-redes, e pelo fato de não analisar o tipo do tráfego, a qualidade de serviço não pode ser alcançada.

MPOAxMPLS

	Implementação	comunicação entresub-redes	compatibilidade com outros protocolos (IPX, NetBIOS, etc..)	QoS (para ambientes IP)	Escalabilidade	custo
MPOA	complexa	Roteadorembutido (roteadorvirtual)	sim	nãopodeser conseguida devido aousode roteadores	recomendadopara pequenos backbone	elevado
MPLS	complexa	utilizaoprincípio rotear uma vez, comutaraseguir	conceitualmente sim, mas é focado na integração IPv4- ATM	consegue uma boa QoS pelo fato de rotear uma vez e comutaraseguir	foi projetadopara contemplar os problemas existentes em grandes backbones (internet)	elevado

Tabela 6. Estudo comparativo entre os modelos multiprotocolos.

6.3 Critérios de seleção

Como é improvável que uma corporação atualize uma rede inteira para ATM, as redes mistas ATM/LAN são exigidas freqüentemente quando o ATM é introduzido em um projeto. As soluções para integração do ATM com os protocolos existentes incluem a emulação de LAN (LANE) [seção-6.1], IP over ATM (IPOA) [seção-6.2], Multiprotocol over ATM (MPOA) [seção-6.3] e Multiprotocol Label Switch (MPLS) [seção-5.3]. Um fator de motivação para o uso do ATM nas redes privadas como uma tecnologia de núcleo de WAN é economizar o dinheiro gasto em tarifas mensais para circuitos WAN.

Esta seção apresenta as linhas guias básicas para a seleção de uma destas opções de integração de IP sobre ATM durante o projeto de uma rede. Estas linhas guias estão expressas na forma de um fluxograma, apresentado na figura 42.

Nenhuma tecnologia isolada é a resposta certa para todas as circunstâncias, a figura 42 informa sobre as características de facilidade de limites e possibilidades de expansão (crescimento), dando um horizonte para escolha de alguma tecnologia, a fim de ajudar a fazer as seleções apropriadas.

O primeiro critério de seleção é a identificação do tipo de rede: pública ou privada. As seções que seguem descrevem os demais critérios.

6.3.1 Redes Públicas

Em muitos países, o governo ou companhias privadas começaram a oferecer serviços de rede a qualquer organização ou organismo que necessite. Este tipo de rede é propriedade do operador de rede, que fornece serviços de comunicação aos terminais e computadores dos clientes. Um tal sistema é denominado neste trabalho por rede pública.

Para a identificação da melhor opção de integração IP sobre ATM para as redes públicas, é necessário identificar o limite da rede: internacional/interestadual ou predial/campus/metropolitana.

No caso de um backbone metropolitano/interestadual/internacional, a solução recomendada para a integração IP/ATM é o MPOA por ser um padrão do ATM Forum que fornece uma estrutura para sintetizar pontes, comutação e roteamento em um ambiente de diversos protocolos, tecnologias de rede, como foi visto na seção 6.3.

No caso das redes predial/campus, outro fator que deve ser levado em consideração é o nível de crescimento. Para redes com um grande potencial de expansão é recomendada a adoção do MPOA. Para redes menores é recomendada a adoção do IPOA ou LANE.

- IPOA é recomendada quando o protocolo utilizado é somente o IP, pois sua implementação é bastante simples, como visto na seção 7.2.2..
- LANE é recomendada quando utiliza-se outros tipos de protocolos tais como IPX e NetBEUI, Essa abordagem não requer nenhuma mudança nas configurações de estações de trabalho e minimiza o impacto sobre os usuários finais, como mostra na seção 6.1.

6.3.2 Redes Privadas

Redes privadas ou redes corporativas são redes empresariais, governamentais ou universidades cujo objetivo é tornar disponíveis para funcionários, alunos, professores, clientes e parceiros uma vasta quantidade de dados, independente de estes dados estarem armazenados em servidores ou mainframes centralizados ou distribuídos. Neste tipo de rede, grandes orçamentos são necessários para as operações de rede e telecomunicações. Neste tipo de rede, a corporação tem o completo domínio da infra-

estrutura de comunicação. Todo o processo de construção, manutenção e administração são de responsabilidade da corporação.

Para a identificação da melhor opção de integração IP sobre ATM para as redes privadas, é necessário identificar o limite da rede: internacional/interestadual/metropolitanas ou predial/campus/metropolitana. Para as redes privadas predial/campus, os critérios de escolha da melhor tecnologia de integração IP/ATM são idênticos aos critérios de escolha das redes públicas.

No caso das redes privadas internacional/interestadual/metropolitanas, outro fator que deve ser levado em consideração é o nível de crescimento. Para redes com um grande potencial de expansão é recomendada a adoção do MPLS, pois esta tecnologia já foi projetada para contemplar os problemas de escalabilidade existentes em grandes backbones como a Internet, como foi visto na seção 5.3. Para redes menores é recomendada a adoção do MPOA isto principalmente devido ao fato que o MPOA é uma recomendação do ATM Fórum e geralmente adota pelas redes públicas.

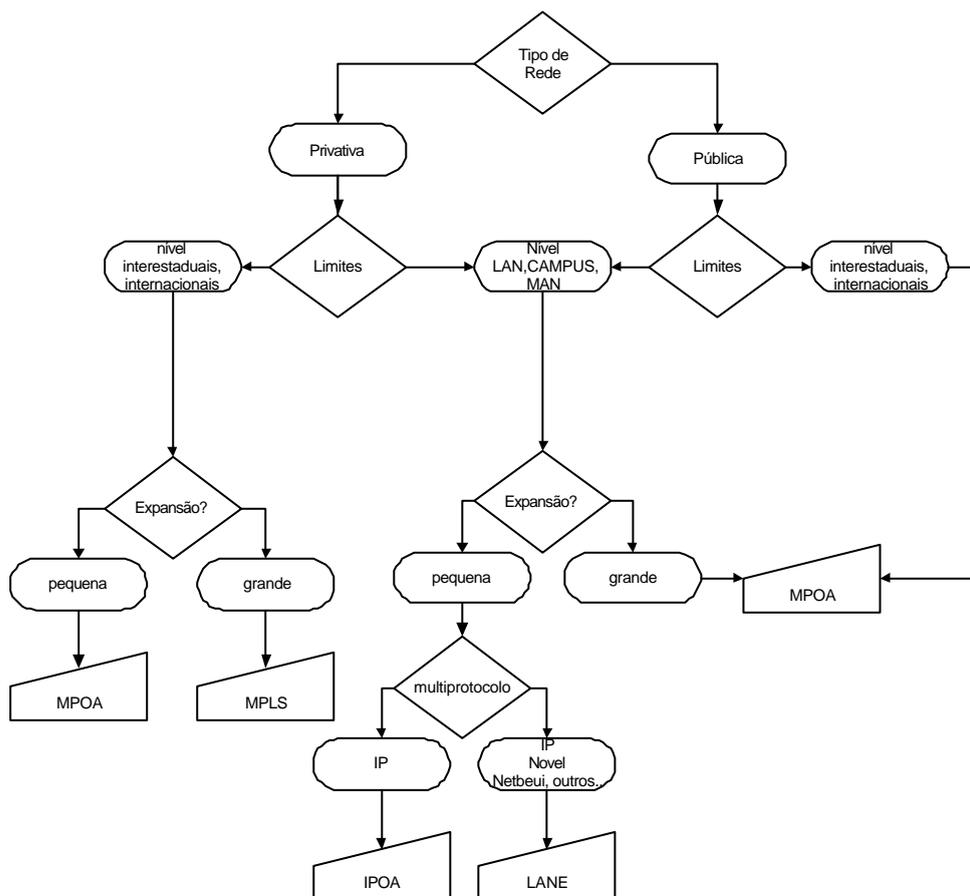


Figura 42. Critérios de seleção

6.4 Conclusão

Este capítulo apresentou inicialmente as vantagens e desvantagens de diversas tecnologias de integração IP sobre ATM, comparou as técnicas do modelo overlay e fez uma comparação entre o MPOA com o MPLS. Ele também apresentou critérios de seleção destas tecnologias.

Se a rede que estará sendo atualizada for pequena e utiliza somente o protocolo IP a solução IPOA é mais aconselhada, mas quando a rede utilizar outros protocolos (ex. NetBios) a solução LANE será a que melhor atenderá, mas quando a qualidade de serviço começar a ser importante (ex. tráfego multimídia), essas duas soluções começarão a apresentar problemas, será necessário então utilizar outras tecnologias (MPOA ou MPLS). As soluções MPOA para pequeno e médios backbone e o MPLS é indicado para grandes e complexos backbone (a ex. da Internet2).

Capítulo 7 Conclusão

ATM e IP são uma realidade, cada um tem seus benefícios e qualidades, com isso foram desenvolvidas implementações de redes com núcleo ATM e camadas de acesso IP, para que se possa tirar o melhor dos dois mundos: a confiança do IP com a garantia de performance e a capacidade de multi-serviços (telefonia, vídeo,..) do ATM. Com isto pode-se ter redes normais roteadas para aumentar o alcance, controlar a latência e carregar voz, dados, vídeo, e qualquer outra coisa que precise, sem ter que mudar a aplicação.

Para conseguir os objetivos citados, foram desenvolvidos ao longo de vários anos diversas tecnologias e modelos para rodar IP sobre ATM, alguns do IETF, alguns do Fórum ATM e algumas soluções proprietárias desenvolvidos por diversas companhias de comunicação ,nesta dissertação foi utilizado como alvo o: LANE, IPOA, MPOA e MPLS, onde foi realizada uma pequena menção às tecnologia proprietárias que não foram incluídas nas análise feita nos estudos comparativos.

Esta dissertação teve dois objetivos principais. O primeiro foi fazer uma análise comparativa das principais soluções de integração IP sobre ATM. Sendo que as tecnologias avaliadas foram IPOA, LANE, MPOA e MPLS. O segundo objetivo foi auxiliar os projetistas de rede na escolha da melhor solução de integração IP sobre ATM levando em consideração os requisitos específicos de cada projeto de rede de computadores. A perspectiva é que todos os projetistas de rede que pretendam aumentar o campo de ação das redes IP além do domínio de uma LAN possam se utilizar deste trabalho como fonte de conhecimento e aprimoramento.

O problema é como definir qual tecnologia implementar, pois na maioria das vezes, contudo, as redes não são tão facilmente categorizadas e os projetistas raramente têm a chance de projetar uma rede a partir do zero e escolher qual a melhor tecnologia que será utilizada depende da análise de alguns fatores que estão listados a seguir:

1. Identificação do escopo da rede : entender se a rede é um único segmento de rede, um conjunto de LANs, um conjunto de WANs ou redes de acesso remoto, ou ainda à rede da empresa inteira.

2. Caracterização do tráfego da rede :a caracterização do fluxo de e tráfego envolve a identificação das origens e dos destinos do tráfego de rede e a análise da direção e simetria dos dados que trafegam entre origens e destinos. Um exemplo : as estações clientes enviam pequenas consultas e os servidores enviam grandes fluxos de dados. A análise dos requisitos do tráfego da rede não é uma simples questão de identificar fluxos é também uma questão de caracterizar os requisitos de qualidade de serviço (QoS) para os aplicativos.
3. Identificação dos protocolos : IP, NetWare, AppleTalk, NetBios, etc., uma rede pode usar uma combinação destes protocolos (IP e NetBios), neste caso deve ser identificado qual será o protocolo principal.
4. Identificação dos aplicativos de rede : a identificação deve incluir tanto os aplicativos atuais quanto os novos aplicativos. Aplicativos como HTTP, FTP, Acesso a Banco de Dados e a maioria dos processos comerciais, são escritas para executarem tão rápidas quanto a rede permite. O contetor usual para estas aplicações é a rede por si própria. Congestionamentos de rede implicam que o fluxo de dados seja retardado, de forma a aumentar em muito o delay, apesar dessas aplicações tolerar um atraso maior, elas tentam consumir muito mais recursos de rede que elas podem. Ex. de aplicativos : Correio Eletrônico, Compartilhamento de arquivos, navegação na Web, Transferência de arquivos, editoração eletrônica, videoconferência, etc..
5. Verificação da topologia da rede : é um fator importante a definição de uma topologia lógica antes de selecionar produtos ou tecnologias físicas.
6. Verificação de protocolos de bridges, comutação e roteamento :
7. Seleção de tecnologia e dispositivos para redes de campus, redes corporativas : esta parte envolve a seleção de tecnologias de LANs e WANs, onde são analisados as escolhas relativas ao cabeamento, protocolos da camada física e da camada de enlace de dados, além de dispositivos de interligação de redes (hubs, comutadores, pontes e roteadores)
8. Restrições orçamentárias e de pessoal : o projeto deve se adaptar ao orçamento do cliente e verificar qual o nível de experiencia dos funcionários internos.

9. Segurança : a verificação de segurança é um dos pontos mais importantes em redes corporativas, especialmente à medida que mais empresas acrescentam conexões para a internet e extranets às suas usb-redes.
10. Facilidade do gerenciamento : desempenho, falhas, segurança e contabilidade.

Considere, por exemplo, uma rede IP usando tecnologia Ethernet, que está sendo parcialmente atualizada para ATM, afim de que sejam resolvidos alguns problemas de desempenho. Nesta rede, os servidores de arquivos e de aplicações devem ser mudados para ATM, junto com o *backbone* da rede. A maioria dos usuários finais deverá permanecer em segmentos Ethernet. Para que isto seja possível, conversores ATM-para-Ethernet são necessários em vários pontos da rede. Roteadores com uma interface ATM certamente poderão prover a conversão, mas *switches* de LAN Ethernet também podem fazer o trabalho. Esta solução pode não ser tão simples se levarmos em consideração todos os itens discutidos anteriormente.

Outro ponto a considerar é com relação ao QoS, pois deve-se conseguir estabelecer parâmetros mínimos para determinado fluxo de informações que serão sempre conseguidos sob quaisquer circunstâncias da rede. Estes parâmetros podem ser associados por aplicação, de acordo com as exigências de cada aplicação. Aplicações como HTTP, FTP, Acesso a Banco de Dados e a maioria dos processos comerciais, são escritas para executarem tão rápidas quanto a rede permite. O contetor usual para estas aplicações é a rede por si própria. Congestionamentos de rede implicam que o fluxo de dados seja retardado, de forma a aumentar em muito o delay, apesar dessas aplicações tolerar um atraso maior, elas tentam consumir muito mais recursos de rede que elas podem.

Outro ponto importante é entender a escalabilidade de cada tecnologia estudada, pois algumas soluções ainda se encontram no estágio inicial de desenvolvimento e podem não estar preparadas para uso em larga escala ou sob tráfego pesado. Outra preocupação deve ser a compatibilidade , pois nem todas as soluções permitem o uso de qualquer elemento de comutação, geralmente amarrados a hardwares específicos.

Muitas soluções podem ser mais marketing do que tecnologia. Portanto, antes de aceitar que determinada tecnologia de comutação é a solução para a integração IP sobre ATM, a escolha de qual e como utilizar, dependerá do projeto, objetivos da rede,

suporte que o fabricante ofereça e as vantagens do ATM sendo necessário entender as reais dificuldades para poder definir o melhor caminho tecnológico.

Sugestões para Trabalhos Futuros

Em termos de trabalhos futuros, dentro das tecnologias de integração IP sobre ATM segue-se:

- Análise da integração em termos de domínios de colisão e domínios de broadcast.
- Abordar a tecnologia IP Switching, Vlan's, Elan's e VPN's, visualizando as vantagens do ATM com essas tecnologias.
- Visão da limitação da tecnologia ethernet, mostrando todas as limitações desta tecnologia com relação ao limite de crescimentos com os números de máquinas e aumento da abrangência geográfica.
- Análise de equipamentos e fornecedores com preços de mercado.
- Implementar um ou vários exemplos de configuração de redes IP para a tecnologia ATM. (ex. endereços IP para endereços ATM).
- Mostrar a complexidade de configuração do modelo MPLS e MPOA.

Capítulo 8 Referências

- [ACT 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.
- [ALE 98] ALEIXO, A. F.; *RSVP – Uma implementação de Qualidade de Serviço sobre a tecnologia da Internet – 1998*, Universidade Federal de Paraíba.
- [ALL 96] ALLES, A. and D. Minoliq . *LAN, ATM, and LAN Emulation Technologies*. Artech House, 1996.
- [ALM 98] ALMESBERGER, W.; Ferrari T.; *et al*; *SRP: A Scalable Reservation Protocol for the Internet*. Technical Report, EPFL, Lausanne, Switzerland, March 1998
- [ANK 97] ANKER, T.; Breitgand, D.; Dolev, D.; *et al*; “*IMSS: IP Multicast Shortcut Service*”, Internet Draft, draft-anker-congress-00.txt, Julho 1997.
- [ARA 98] ARAÚJO, Gorgonio. *MPLS. On-line*.
<http://www.nexos.com.br/~gorgonio/mpls/> (10/Dez/1998). 10 de Dezembro de 1998. *Página de apoio ao estudo do MPLS. Contém esta proposta, slides da apresentação e deverá conter outros materiais e localizadores no futuro*.
- [ARM 96] ARMITAGE, G.; *Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks*, RFC 2022, Novembro 1996.
- [ARN 01] Fast IP – 3Com Technical Papers –
http://www.3com.co.kr/technology/key_net/fast_ether/500646.html.
- [ATM 94] ATM Forum/af-uni-0010.002. *ATM User -Network Interface Specification 3.1*. Aprovado em 1994. Disponível por FTP em
<ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-uni-0010.002.ps>
- [ATM 94a] The ATM Forum, “*LAN Emulation over ATM*”, Draft Specification, AF/94-0035.

- [ATM 95] The ATM Forum, "LAN Emulation Over ATM", Version 1.0, AF-LANE-0021.000, 01/1995.
- [ATM 95a] The ATM Forum, "LAN Emulation Client Management Specification", Version 1.0, AF-LANE-0038.000, 09/1995.
- [ATM 96] The ATM Forum, "MPOA Baseline Version 1", ATM Forum/96-0824r9.
- [ATM 96a] ATM Forum/95-0013R10. ATM Traffic Management Specification Version 4.0, abril de 1996. Disponível por FTP em;
ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0056.000.ps
- [ATM 96b] ATM Forum/af-sig-0061.000. UNI Signalling 4.0, de julho de 1996.
Disponível por FTP em; ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-sig-0061.000.ps
- [ATM 96c] The ATM Forum, "LAN Emulation Servers Management Specification", Version 1. AF-LANE-0057.000, 03/1996.
- [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>>.
- [BER 98] BERGER, L.; *RSVP over ATM Implementation Requirements*. IETF RFC 2380, Agosto1998.
- [BRN 98] BERNET, Y.; Binder J.; Blake S.; et al; *A Framework for Differentiated Services*. Work in Progress, IETF, <draft-ietf-diffserv-framework-00.txt>, May 1998.

- [BRA 94] BRADEN, R.; Clark D.; Shenker S.; *Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview*. IETF Request for Comments, RFC 1633, June 1994.
- [BRA 97] BRADEN, R.; Zhang L.; Berson S.; et al; *Resource ReSerVation Protocol (RSVP) -Version 1 Functional Specification*. IETF RFC 2205, September 1997.
- [CAL 97] CALLON R.; Doolan P.; et al, *A Framework for Multiprotocol Label Switching*. IETF, <draft-ietf-mpls-framework-02. txt>, November 1997
- [CER 97] CEREDA, R.D. e M.C. Cruz e L.V. Dutra e R.R.Sewaybricker. *ATM O Futuro das Redes*. Makron Books do Brasil, 1997.
- [COL 96] COLE, R., Shur D. & Villamizar C.; *IP over ATM: A Framework Document*. IETF Request for Comments, RFC 1932, April 1996.
- [COM 98] CACI, Products Company; *COMNET III – Reference Guide*, Release 2.0, 1998.
- [DIA 97] DIAS, Ronaldo Luiz. *ATM: O Futuro das Redes*. São Paulo: Makron Books: Brisa, 1997.
- [DOU 00] DOURADO, Rogerio S. Jr.; Micheli Milena P.; Figueredo, Mercia E. B.; *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.
- [DOU 00a] DOURADO, Rogerio e M.P. Micheli e M.B. Figueiredo. Um estudo sobre mpoa (multi-protocol over atm). In II Workshop RNP2 18 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2000), 2000.
- [DOB 99] DOBREY, A. Differentiated services in atm-networks. Technical report, University of Bern, 1999.
- [GAR 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.

- [GUA 00] GUARDIEIRO, P. R. e R. de Oliveira . Qualidade de serviço na internet: Um estudo comparativo de tecnologias e arquiteturas. Faculdade de Engenharia Eletrica-Universidade Federal de Uberlândia, 2000.
- [ISO 88] ISO; *Information Processing System -Open System Interconnection Protocol for Providing Connectionless Mode Network Service*. International Standard Organisation, Standard ISO 8473, 1988.
- [IET 82] IETF Internet Engineering Task Force, RFC 826, “An Ethernet Address Resolution Protocol”, Network Working Group, 11/1982.
- [IET 92] IETF Internet Engineering Task Force, RFC 1293, “Inverse Address Resolution Protocol”, Network Working Group, 01/1992.
- [IET 93] IETF Internet Engineering Task Force, RFC 1483, “Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5”, Network Working Group, 07/1993.
- [IET 94] IETF Internet Engineering Task Force, RFC 1577, “Classical IP and ARP over ATM”, Network Working Group, 01/1994.
- [IET 96] IETF Internet Engineering Task Force, INTERNET-DRAFT, “NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)”, Routing over Large Clouds Working Group, draft-ietf-rolc-nhrp-6.txt.
- [IET 96a] IETF Internet Engineering Task Force, RFC 2022, “Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks ”, Network Working Group, 11/1996.
- [LEI 96] LEINWAND, Allan e Conroy, F. Karen, “Network Management A Pratical Perspective”, Ed. Addison Wesley, 2^o Edition 1996.
- [ITU 91] ITU-T. Recommendation I.321: B-ISDN protocol reference model. Abril de 1991
- [ITU 93a] ITU-T. Recommendation I.363: B-ISDN ATM adaptation layer (AAL) specification. Março de 1993.
- [ITU 93b] ITU-T. Recommendation I.413: B-ISDN User-Network Interface (UNI). Março de 1993
- [ITU 93c] ITU-T. Recommendation I.350: General aspects of quality of service and network performance in digital networks, including ISDN. Março de 1993.

- [ITU 96] ITU-T. Recommendation I.371: Traffic Control and Congestion Control in B-ISDN. Agosto de 1996.
- [JAI 96a] JAIN, Raj. “Congestion Control and Traffic Management in ATM Networks: Recent Advances and a Survey”. Artigo convidado em *Computer Networks and ISDN Systems*, 28(13), 1723-1738 out. 1996. Também disponível como documento do ATM Forum/95-0177, fevereiro de 1995, em <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/>
- [JAI 96b] JAIN, Raj et al. “ERICA Switch Algorithm: A complete Description”, ATM Forum/96-1172, agosto de 1996, também disponível em <http://www.cis.ohio-state.edu/~jain/>
- [JAIN 91] JAIN, R.; *The Art of Computer Systems Performance Analysis – Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling*. John Wiley&Sons, 1991.
- [LAU 98] LAUBACH, M.; *Classical IP and ARP over ATM*. IETF Request for Comments, RFC 2225, Abril de 1998.
- [LUC 98] LUCIANI, J.; Katz, D.; Pisticello, D.; et al; *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*, RFC 2332, Abril 1998.
- [MAR 99] MARTINS, J.; *Qualidade de Serviço em Redes IP – Princípios básicos, Parâmetros e Mecanismos*. ITELCON - JSMNet Networking Reviews – Vol. 1 – N° 1, Setembro de 1999.
- [NEW 98] NEWMAN, P.; et al; *Ipsilon General Switch Management Protocol Specification – version 2.0*, IETF RFC 2397, março 1998.
- [OLI 00] OLIVEIRA, S. S.; Westphall, C.; *Qualidade de Serviço em Redes IP sobre ATM – Anais do VI Congresso Internacional de Ingeniería Informática - ICIE Y2K* Departamento de Computación, Facultad de Ingeniería, Buenos Aires/Argentina, Abril/2000.
- [OPP 97] OPPENHEIMER, Priscilla, *Projetos de Redes Top-Down – Um enfoque de análise de redes empresariais*. Ed. Campus, 1997.

- [PAG 00] PAGANI, C. E. & Magalhaes, M. F.; *Agregação de Tráfego em um Computador 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.
- [PER 00] PEREIRA, L.S.; *Qualidade de Serviço em Aplicações Multimídia sobre Redes IP/ATM*. Dissertação de Mestrado do CPGCC da UFSC, janeiro 2000.
- [REK 97] REKHTER, B.; Davie, B.; et al; *Cisco Systems Tag Switching Architecture Overview*. IETF RFC 2105, february 97.
- [ROC 98] ROCHOL, J.; *Redes de Computadores*, 3ª parte – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Setembro de 1998.
- [ROD 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.
- [ROE 98] ROESLER, V.; *Curso Básico de ATM*. PRAV – Pesquisa em Redes de Alta Velocidade; Unisinos, 1998.
- [ROS 99] ROSEN, E.; Viswanathan, A.; Callon, R.; *Multiprotocol Label Switching Architecture*, IETF Draft MPLS WG, Work in progress, Agosto 1999.
- [SAD 00] C.A. Kamienski e D. Sadok. Qualidade de serviço na internet. In 18 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores (SBRC2000) Mincurso 2, 2000.
- [SAM 97] Sampaio, Cleuton. TCP/IP e Intranets. Rio de Janeiro: Brasport, 1997.
- [SC 96] SCHULZRINNE, H.; Casner S.; et al; *RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications*. IETF Request for Comments, RFC 1889, January 1996.
- [SHE 97a] SHENKER, S. & Wroclawski, J.; “*General Characterization Parameters for Integrated Service Network Elements*”, RFC 2215, Setembro 1997.
- [SHE 97b] SHENKER, S.; Patridge, C.; Guerin, R.; *Specification of Guaranteed quality of Service*, RFC 2212, Setembro 1997.
- [SMI 97] SMIRNOV, M.; *EARTH – Easy IP Multicast Routing Through ATM Clouds*, Internet Draft, draft-smirnov-ion-earth-02.txt, Março 1997.

- [SOAw 95] SOARES, Luiz Fernando G. *Redes de Computadores: Das Lans, Mans e Wans às Redes ATM*. Rio de Janeiro: Campus, 1995
- [TAN 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.
- [WER 97] WERNER, A.; Silvia G.; Piergiorgio, C.; Hannu F.; *et al*; *A Framework for the QoS Based Integration of IP and ATM in the DIANA Project*, 1997.
- [WH 98] WHITE, P. & Crowcroft J.; *A Dynamic Sender-Initiated Reservation Protocol for the Internet*, 8th IFIP Conference on High Performance Networking (HPN'98), Vienna, September 21-25, 1998.
- [WRO 97] WROCLAWSKI, J.; *Specification of the Controlled-Load Network Element Service*, RFC 2211, Setembro 1997.
- [XED 98] XEDIA Corporation; *Achieving IP Quality of Service in ATM Networks*, 1998
<http://www.xedia.com/products/atm_whitepaper.htm#