

Instituto Nacional de Telecomunicações

Pós-Graduação em Engenharia de Redes e Sistemas de Telecomunicações

TP313 - Interconexão de Redes

Prof. Edson J. C. Gimenez

(Sem2/2009)

2

Referências Bibliográficas

- Brito, J. M. C. – Interconexão de Redes – Inatel, 1999.
- Tanenbaum, A. S. – Redes de Computadores, 4ª ed. – Campus, 2003.
- Soares, L. F. G., Lemos, G. e Colcher, S. – Redes de Computadores: das LANs, MANs e WANs às Redes ATM, 2ª ed. – Campus, 1995.
- McDavid, D. and Spohn, D – ATM Theory and Applications – McGraw-Hill, 1999.
- Forouzan, B. A. – Data Communications and Networking, 3/ed. – MacGraw Hill, 2004.
- Cardozo, E. e Magalhães, M. F. – Modelos de Interconexão de Dados sobre Redes ATM. DCA/FEEC/UNICAMP, 2004.
- Cardozo, E. e Magalhães, M. F. – Modelos de Interconexão IP-ATM. DCA/FEEC/UNICAMP, 2004.

Conceito Final

- Avaliação:
Lista de exercícios – peso 10
- Conceito Final:
Conceito A: $NF \geq 90$
Conceito B: $70 \leq NF < 90$
Conceito C: $50 \leq NF < 70$
Conceito D: $NF < 50$
Conceito E: NC

Introdução à Interconexão de Redes
(Tanenbaum – cap. 5 – 4^a ed.)

Tipos de interconexão

- LAN-LAN
- LAN-WAN
- WAN-WAN
- LAN-WAN-LAN

Tipos de interconexão

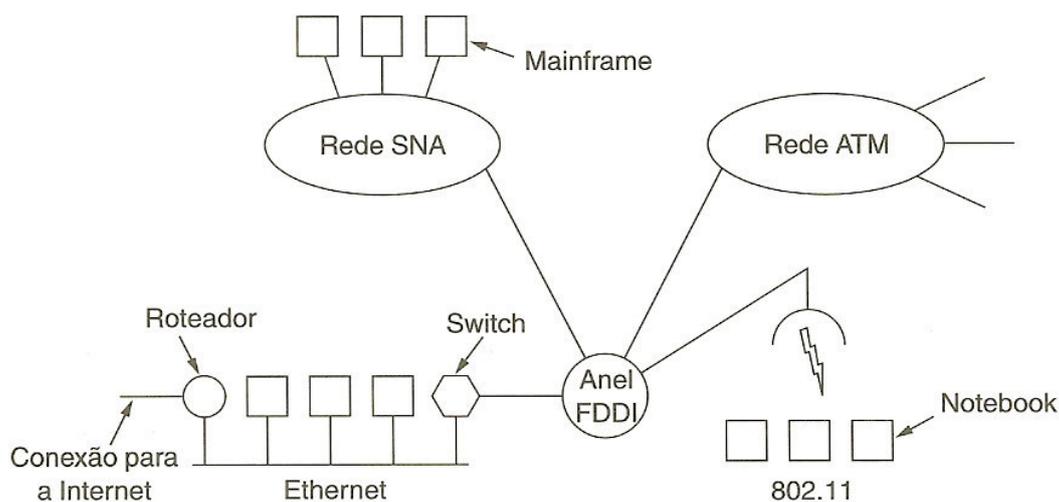


Figura 5.42 Um conjunto de redes interconectadas

Equipamentos de interconexão

- Repetidores
- Switches
- Roteadores
- Gateways - (transporte e aplicação)

Repetidores

- Operam na camada 1
- Repetem bits entre segmentos de cabos
- Usados para contornar limitações da interface elétrica

Switches

- Operam na camada 2
- Operam no modo store-and-forward
- Não enxergam o cabeçalho da camada 3 e, portanto, não podem tomar decisões que dependam dela

Roteadores

- Operam na camada de rede
- Para os roteadores multiprotocolos as redes podem usar protocolos diferentes (IP, IPX, AppleTalk).

Gateways da camada de transporte

- Operam na camada de transporte
- Conectam fluxos de bytes na camada de transporte

Gateways de aplicação

- Operam acima da camada 4
- Conectam duas partes de uma aplicação na camada de aplicação

Ambiente Inter-redes

- Deve permitir que as entidades do protocolo de transporte das duas extremidades troquem informação entre si de forma transparente, sem conhecimento do conjunto de redes que compõem o ambiente inter-redes.

Como as redes diferem

Item	Algumas possibilidades
Serviço oferecido	Orientado a conexões e sem conexões
Protocolos	IP, IPX, SNA, ATM, MPLS, AppleTalk, etc.
Endereçamento	Simples (802) e hierárquico (IP)
Multidifusão	Presente ou ausente (também difusão)
Tamanho do pacote	Cada rede tem seu próprio tamanho máximo
Qualidade de serviço	Pode estar presente ou ausente; muitos tipos diferentes
Tratamento de erros	Confiável, entrega ordenada e entrega não-ordenada
Controle de fluxo	Janela deslizante, controle de taxa, outros ou nenhum
Controle de congestionamento	Balde furado, balde de símbolos, RED, pacotes reguladores etc.
Segurança	Regras de privacidade, criptografia etc.
Parâmetros	Diferentes timeouts, especificações de fluxo etc.
Contabilidade	Por tempo de conexão, por pacote, por byte ou nenhuma

Figura 5.43 Algumas das muitas diferenças possíveis entre redes

Como as redes podem ser conectadas

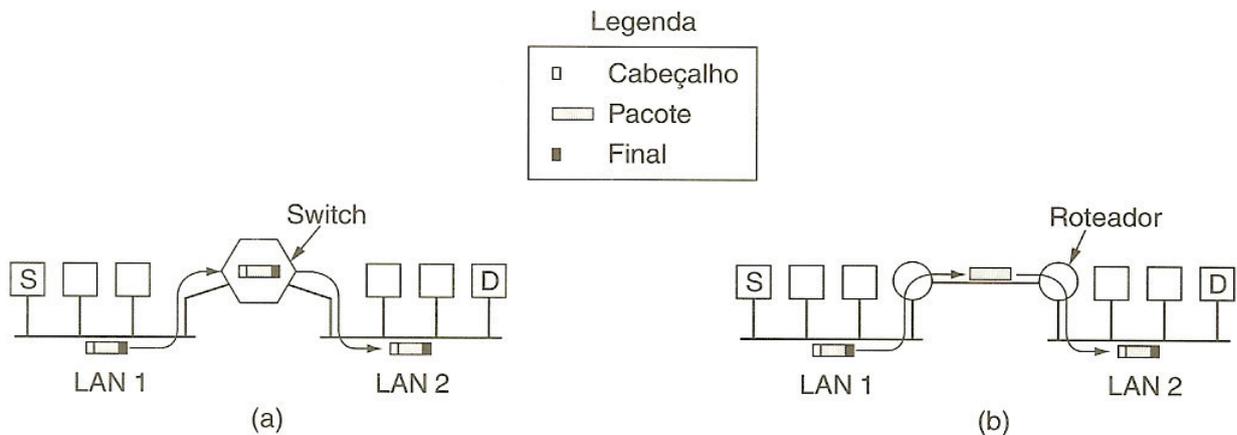


Figura 5.44 (a) Duas redes Ethernet conectadas por um switch.
 (b) Duas redes Ethernet conectadas por roteadores

Circuitos virtuais concatenados

- A sub-rede vê que o destino é remoto e estabelece um circuito virtual com o roteador mais próximo da rede de destino e deste para um gateway externo (multiprotocol router)
- O gateway grava a existência do circuito virtual em sua tabela e procede o estabelecimento de outro circuito virtual com um nó na próxima rede
- O processo continua até o host de destino seja alcançado

Circuitos virtuais concatenados

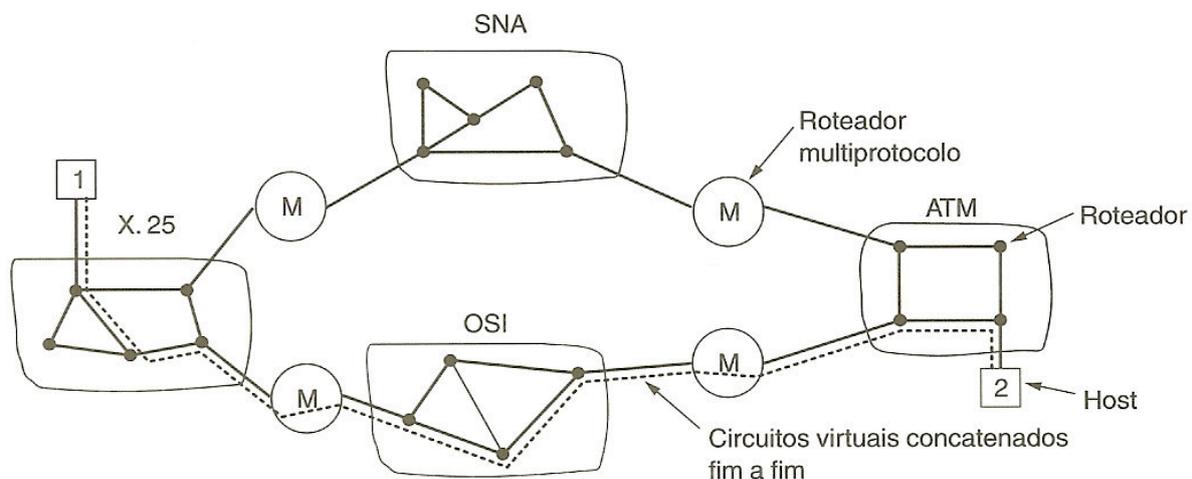


Figura 5.45 Interligação de redes com o uso de circuitos virtuais concatenados

Circuitos virtuais concatenados

- Uma vez iniciado o fluxo de pacotes, os gateways encaminham os pacotes que chegam, executando as conversões de formato e numeração de circuito virtual necessárias
- Todos os pacotes atravessam a mesma seqüência de gateways, e chegam ao destino na ordem em que foram transmitidos.

Circuitos virtuais concatenados

- Trabalha bem se todas as redes possuem aproximadamente as mesmas propriedades
 - Se todas as redes garantem entrega confiável dos pacotes, a menos de uma falha ao longo da rota, o fluxo da fonte para o destino será confiável.
 - Se nenhuma delas garante entrega confiável, a concatenação de circuitos virtuais não será confiável
 - Por outro lado, se a fonte está em uma rede que garante entrega confiável, mas uma das redes intermediárias pode perder pacotes, a concatenação mudou a essência da natureza do serviço

Interconexão connectionless

- O único serviço que a camada de rede oferece à camada de transporte é a capacidade de injetar pacotes na subrede (e torcer pelo melhor).
- O modelo não requer que todos os pacotes passem pelos mesmos gateways.

Interconexão connectionless

- As decisões de roteamento são tomadas separadamente para cada pacote, possivelmente em função do tráfego na rede.
 - Pode utilizar múltiplas rotas e com isto alcançar uma maior BW efetiva que a técnica de circuitos virtuais concatenados.
- Não há garantia que os pacotes chegarão em ordem ao destino

Interconexão connectionless

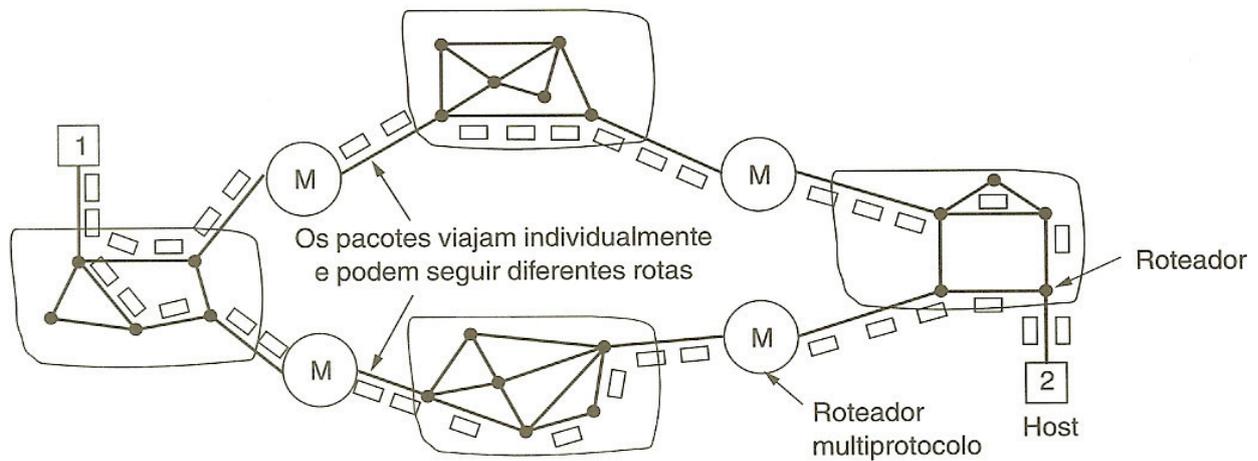


Figura 5.46 Uma inter-rede sem conexões

Tunelamento

- Se os hosts fonte e destino estão no mesmo tipo de rede, mas existe uma rede diferente entre eles, o problema de interconexão se simplifica.

Tunelamento – exemplo 1

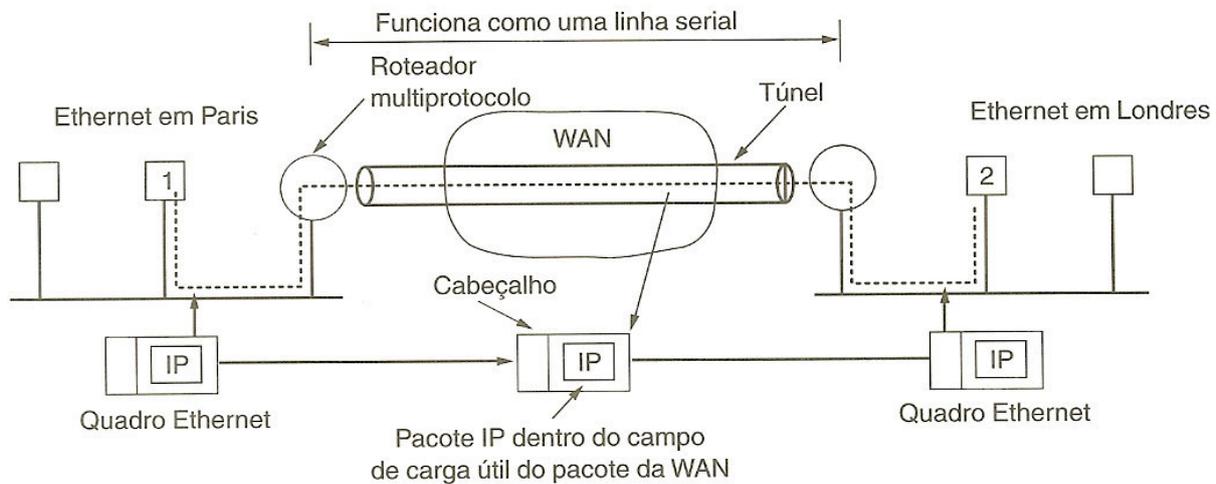


Figura 5.47 Tunneling de um pacote de Paris a Londres

Tunelamento – exemplo 1

- Host 1 monta um pacote contendo o endereço IP do host 2, e o insere em um quadro Ethernet endereçado para o roteador multiprotocolo localizado em Paris.
- Quando o roteador recebe o quadro Ethernet, ele extrai o pacote IP e o insere como payload no quadro do protocolo da WAN, endereçando-o ao roteador conectado à WAN em Londres.
- Este roteador por sua vez extrai o pacote IP do quadro do protocolo da WAN e o insere no quadro Ethernet, enviando-o ao host 2.

Tunelamento – analogia



Figura 5.48 Transportando um carro por um túnel entre a França e a Inglaterra

Roteamento inter-redes

- Similar ao roteamento em uma única subrede, com algumas complicações adicionais
- Exemplo:
 - 5 redes interconectadas por 6 roteadores multiprotocolos.
 - Cada roteador multiprotocolo pode acessar qualquer outro conectado à mesma rede

Internetwork do exemplo e seu grafo

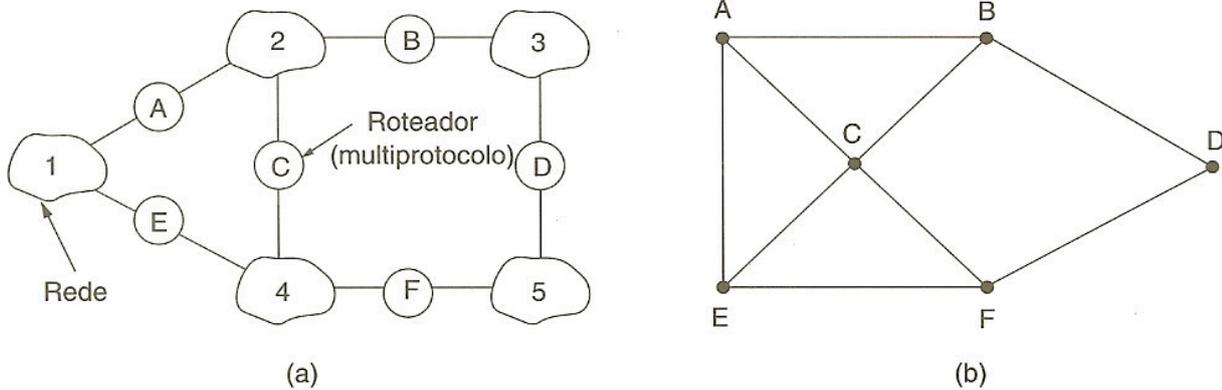


Figura 5.49 (a) Uma inter-rede. (b) Um grafo da inter-rede

Roteamento inter-redes

- Uma vez definido o grafo, pode-se aplicar o algoritmo de roteamento desejado (ex.: caminho mais curto).
- Tem-se dois níveis de roteamento
 - Dentro de cada rede: interior gateway protocol (IGP)
 - Entre redes: exterior gateway protocol (EGP)
- As redes podem usar algoritmos diferentes
- O roteamento pode ter que levar em conta a qualidade de serviço oferecida pelas redes intermediárias

Fragmentação

- As redes impõem limites para o tamanho dos pacotes, que vão (na camada de rede) de 48 bytes (células ATM) até 65515 bytes (pacotes IP)
- Um problema óbvio surge quando um pacote grande deseja trafegar por uma rede cujo comprimento máximo permitido é menor.

Fragmentação

- Solução: Fazer com que o algoritmo de roteamento evite as redes que não podem transportar o pacote em seu comprimento original.
- Problema: Se o tamanho do pacote for incompatível com o especificado pela rede onde a estação de destino se encontra, o pacote não chegará ao destino.

Solução do problema

- Fragmentar o pacote, enviando cada fragmento como um pacote inter-rede separado
 - Fragmentar um objeto em partes menores é bem mais fácil que o processo inverso. Este princípio também se aplica às redes.
- Estratégias
 - Fragmentação transparente
 - Fragmentação não transparente

Fragmentação transparente e não-transparente

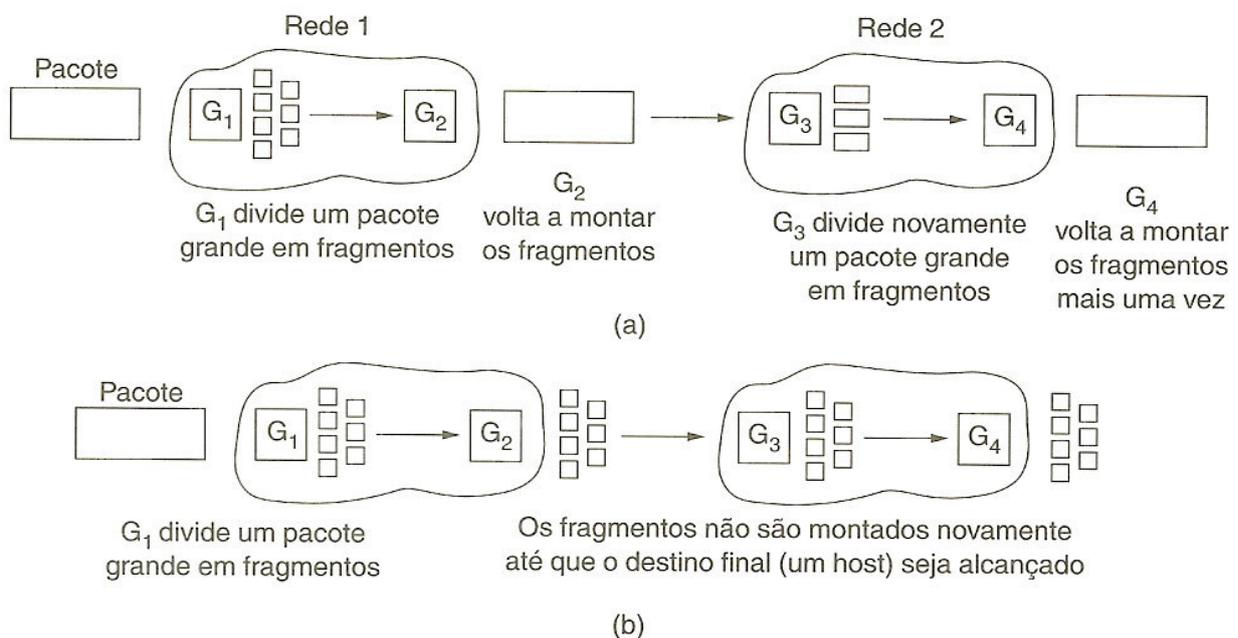


Figura 5.50 (a) Fragmentação transparente. (b) Fragmentação não-transparente

Fragmentação transparente

- Quando um pacote muito grande chega ao gateway de entrada da rede, ele o quebra em fragmentos menores, que são todos enviados para um mesmo gateway de saída, que o remonta.
 - A passagem dos fragmentos pela rede é transparente.
 - As redes subsequentes não tomam conhecimento da fragmentação

Fragmentação transparente

- O gateway de saída deve saber definir se todos os fragmentos do pacote já chegaram
 - Um contador ou um campo de fim de pacote deve ser incluído em cada pacote
- Todos os fragmentos devem sair pelo mesmo gateway
 - Não é permitido o uso de rotas diferentes
- O overhead requerido para remontar e refragmentar repetidamente pacotes que passam através de várias redes (com incompatibilidade de comprimento máximo de pacote) pode ser grande

Fragmentação não-transparente

- A recombinação dos fragmentos para remontar o pacote original só acontece no host de destino.
- Todos os hosts devem ser hábeis para remontar pacotes

Fragmentação não-transparente

- Quando um pacote é fragmentado aumenta-se o overhead total, pois cada fragmento tem de ter um cabeçalho.
 - Na fragmentação transparente o overhead adicional desaparecia após o gateway de saída da rede com incompatibilidade de tamanho de pacote, nesta técnica o overhead adicional permanece até o destino.

Fragmentação não-transparente

- Múltiplos gateways de saída podem ser utilizados, permitindo uma melhor performance
 - Desde que não se esteja usando o modelo de circuitos virtuais concatenados

Numeração dos fragmentos

- Necessária para que o fluxo de dados original possa ser reconstruído
- Numeração em árvore
 - Se o pacote 0 é fragmentado, os fragmentos são numerados por 0.0, 0.1, 0.2, etc.
 - Se o pacote 0.0 também for fragmentado, os novos fragmentos são numerados por 0.0.0, 0.0.1, 0.0.2, etc

Numeração em árvore

- Se foi reservado campo suficiente no cabeçalho para o pior caso de fragmentação e não há qualquer duplicada de pacote em nenhum lugar, o destino é capaz de remontar o pacote, não importando a ordem que os fragmentos chegaram.

Numeração em árvore

- Se qualquer rede perde ou descarta pacotes, existirá necessidade de retransmissão fim-a-fim, com alguns efeitos sobre o sistema de numeração
- Exemplo
 - Um pacote de 1024 bits deve passar por uma rede com comprimento máximo igual a 256 bits.

Numeração em árvore

- Exemplo - continuação
 - Quatro fragmentos são gerados: 0.0, 0.1, 0.2 e 0.3
 - O fragmento 0.1 é perdido, e é o único que não chega ao destino
 - Por infortúnio, o host de origem retransmite, por timeout, o pacote 0
 - O pacote retransmitido segue agora uma rota onde o comprimento máximo é 512 bits

Numeração em árvore

- Exemplo - continuação
 - Dois fragmentos são gerados: 0.0 e 0.1
 - Quando o novo fragmento 0.1 chega ao destino, o host recompõe o pacote com ele e com os fragmentos 0.0, 0.2 e 0.3 que já estavam lá.

Numeração por fragmentos elementares

- O protocolo inter-rede define um fragmento elementar, de comprimento suficientemente pequeno, que possa passar por qualquer rede
- Quando um pacote é fragmentado, todos os pacotes possuem comprimento igual ao fragmento elementar, exceto o último, que pode ser menor

Numeração por fragmentos elementares

- O cabeçalho inter-rede deve conter o número do pacote original, o número do primeiro fragmento elementar contido no pacote e um bit indicando que o último fragmento elementar contido no pacote é o último do pacote original

Numeração por fragmentos elementares

- Existe um compromisso entre o tamanho do fragmento elementar e o número de bits necessários no campo de numeração do fragmento elementar
- Como o fragmento elementar pode ser transmitido em qualquer rede, novas fragmentações não são problema

Numeração por fragmentos elementares

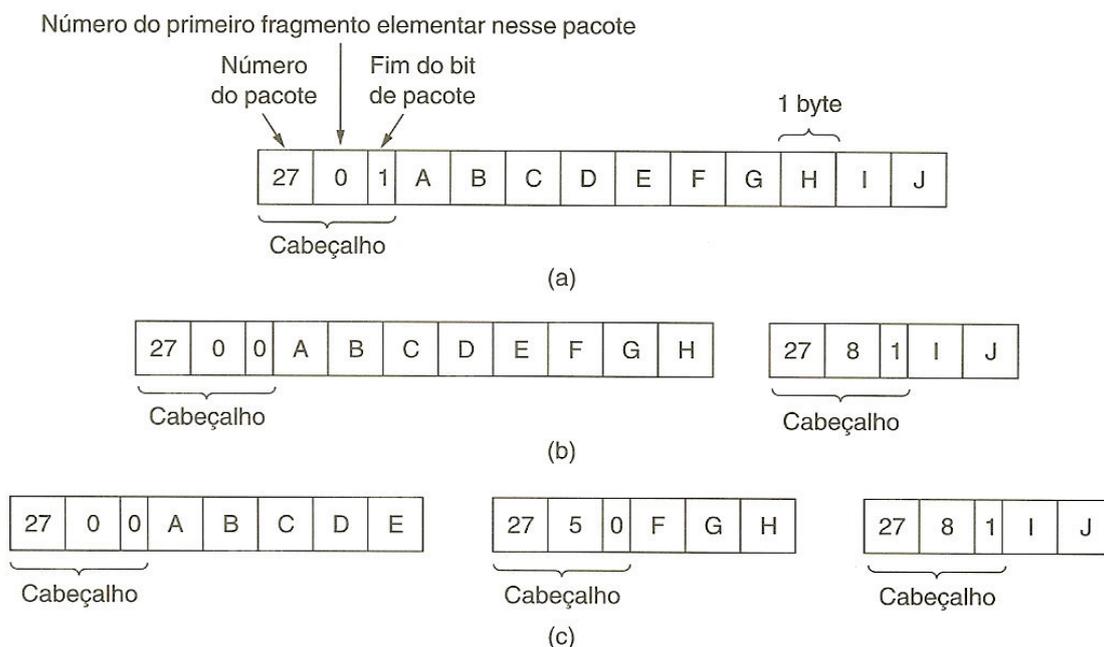


Figura 5.51 A fragmentação quando o tamanho dos dados elementares é 1 byte.
 (a) O pacote original, contendo 10 bytes de dados. (b) Fragmentos depois da passagem por uma rede cujo tamanho máximo de pacote é 8 bytes de carga útil mais cabeçalho.
 (c) Fragmentos depois da passagem por um gateway de tamanho 5

IP sobre ATM

48

Razões para ter-se IP sobre ATM

- O IP é o padrão predominante nas redes de dados.
- O ATM oferece qualidade de serviço e permite a implementação de comutadores de alta capacidade a um custo menor.

Diferenças entre o IP e o ATM

- IP é não-orientado a conexão, enquanto o ATM é orientado a conexão
- Os formatos de endereçamento são distintos.
- Os algoritmos de roteamento são distintos.
- O ATM possui sinalização para o estabelecimento da conexão, enquanto o IP não possui.

Modelos para Interconexão

- Justificativa do desenvolvimento de modelos ATM para interconexão de redes:
 - Utilização da tecnologia ATM como backbone de alta velocidade para suportar o tráfego de dados entre redes locais e no transporte em redes de longa distância.
- Órgãos de padronização:
 - ITU-T
 - ATM-Fórum
 - IETF

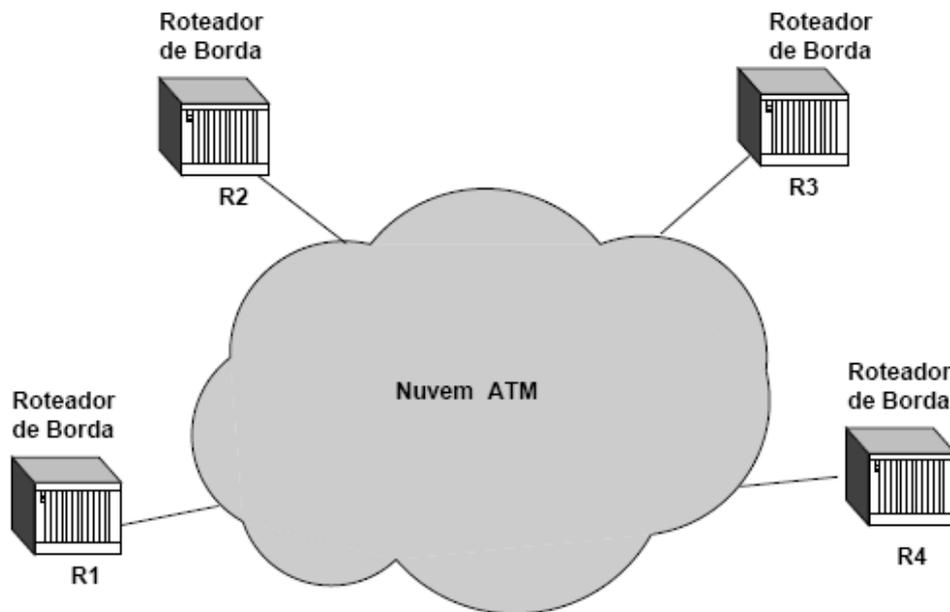
Modelos para Interconexão

- Modelo Overlay
 - Desacoplar a nuvem ATM de qualquer outro protocolo que faça uso dessa nuvem como rede de transporte.
 - Implica na coexistência de duas estruturas de endereçamento diferentes, o que requer um mapeamento de endereço de camada superior em endereço ATM
 - Vantagem: independência entre os protocolos que fazem uso da rede ATM e os protocolos desta

Modelo Overlay

- As estações IP tem uma visão opaca da nuvem ATM
- Os nós na borda, que pertencem à mesma sub-rede lógica, vêem a nuvem ATM como uma estrutura de enlace através da qual todos os nós são vizinhos entre si, ou seja, os nós encontram-se à distância de um hop uns dos outros.

Modelo Overlay



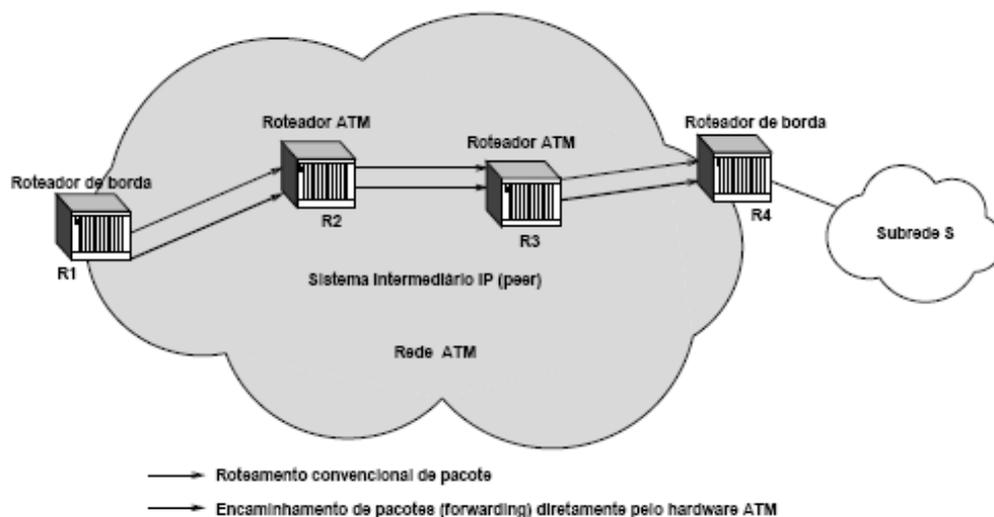
Modelos para Interconexão

- Modelo Peer
 - Consiste na utilização, por parte da rede ATM, do mesmo esquema de endereçamento utilizado pelo protocolo de camada de rede
 - Os equipamentos conectados à rede ATM seriam identificados com endereços da camada de rede (IP, por exemplo), os quais também seriam utilizados pela sinalização ATM

Modelo Peer

- Utiliza-se, dentro da rede ATM, da mesma estrutura de endereços e roteamento da camada de rede.
- Os comutadores ATM tornam-se roteadores IP, e os roteadores de borda não são mais vizinhos entre si.
- Elimina a duplicidade de funções presente no modelo overlay

Modelo Peer



Soluções para IP sobre ATM

- Modelo Overlay:
 - Classical IP over ATM (IETF)
 - Lan Emulation - LANE (ATM-Fórum)
 - Multiprotocol over ATM - MPOA (ATM-Fórum)
- Modelo Peer
 - Multiprotocol Label Switching - MPLS (IETF)

Classical IP over ATM

- Definido na RFC 2225 (anteriormente pelas RFCs 1577 e 1626)
- Utiliza o encapsulamento LLC/SNAP (RFC 1483)
- Os datagramas são transportados em células ATM utilizando a camada AAL5.
- Operação similar a IP sobre Ethernet, utilizando-se o protocolo ATMARP e um servidor de resolução de endereços (uma vez que a rede ATM não permite broadcast)

AAL 5

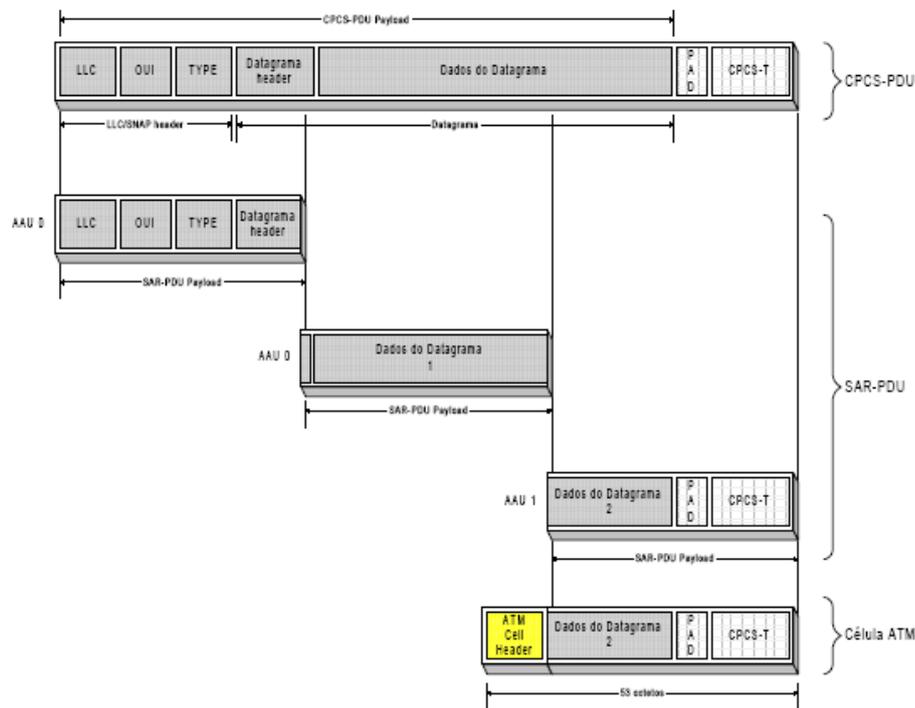
- Permite múltiplos protocolos de camada de rede ou de enlace através de uma conexão AAL5 e também a multiplexação de vários tipos de protocolos sobre uma mesma conexão.
- Protocolo transportado é especificado através de um cabeçalho LLC (Logical Link Control) seguido de um cabeçalho SNAP (Subnetwork Attachment Point), que é anexado à SDU a ser transportada.

Encapsulamento LLC/SNAP

3 bytes			SNAP = 3 + 2 bytes
LLC	OUI	PID	Datagrama IP
0xAA-AA-03	0x00-00-00	0x08-00	

- O valor 0xAA-AA-03 no cabeçalho LLC indica a presença do cabeçalho SNAP (composto de OUI e PID)
- O valor 0x00-00-00 no campo OUI (Organizationally Unique Identifier) do cabeçalho SNAP indica um protocolo do tipo Ethertype no campo PID (Protocol Identifier).
- O valor 0x08-00 no campo PID do tipo EtherType indica o protocolo IP

Encapsulamento LLC/SNAP



Exemplo de Encapsulamento LLC/SNAP sobre ATM AAL5.

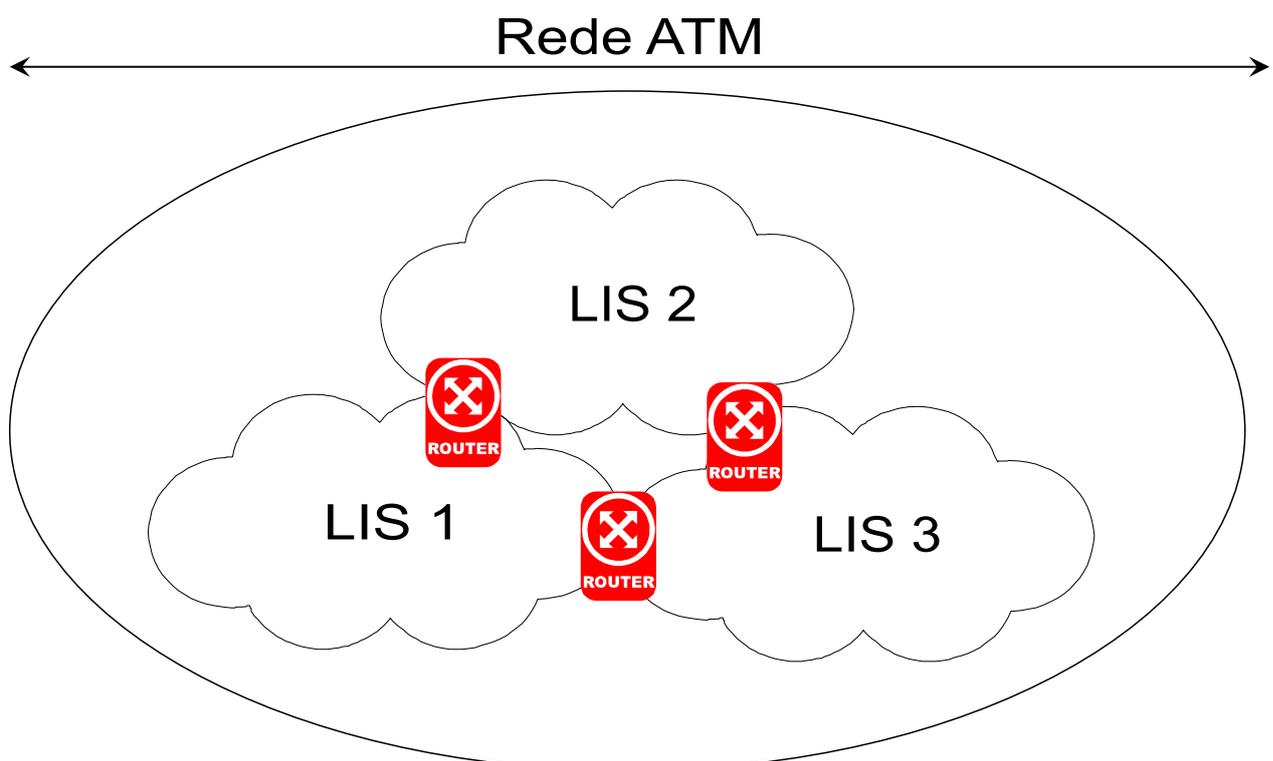
Sub-redes lógicas (LIS – Logical IP Subnet)

- A nuvem ATM pode ser constituída de uma ou mais LIS.
 - As LIS constituem redes IP independentes, interconectadas através de roteador.
- No modelo clássico, os dispositivos pertencentes a LIS distintas não podem se comunicar diretamente, mesmo que estejam conectados à mesma rede ATM.
 - A comunicação entre estes dispositivos se dá através de roteadores.
- A separação entre as LISs é lógica, e não física.

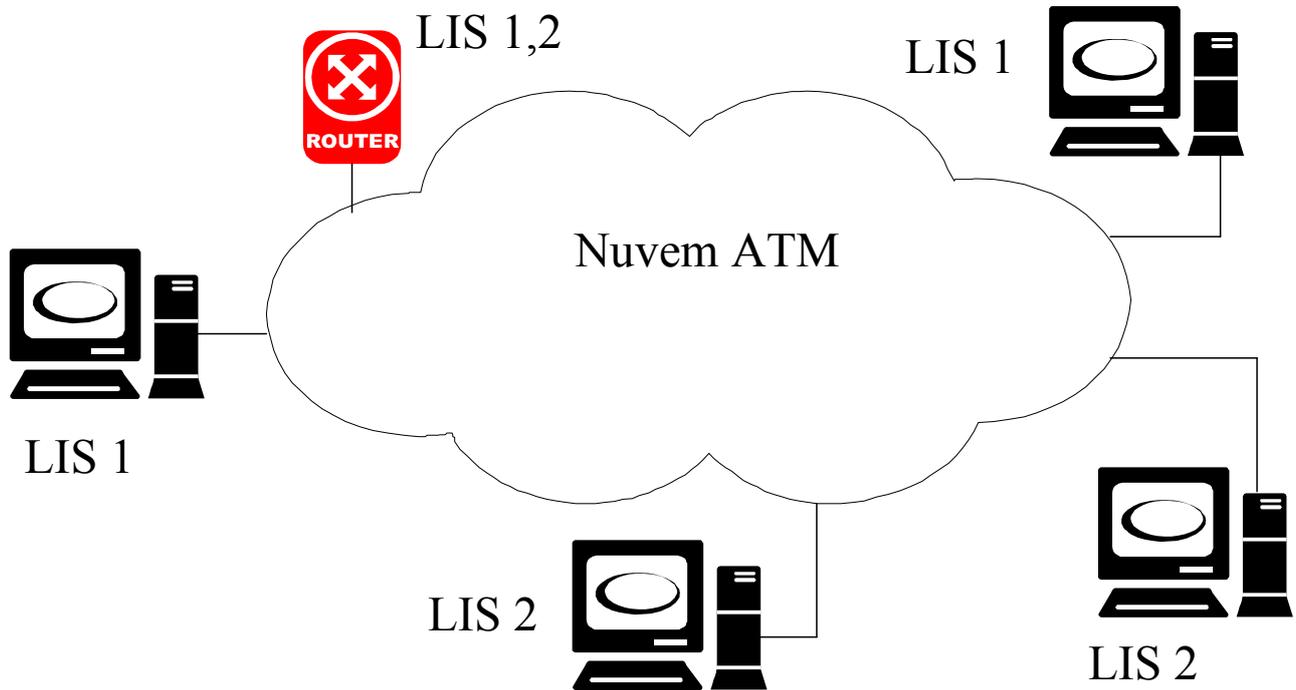
Sub-redes lógicas (LIS – Logical IP Subnet)

- Os dispositivos pertencentes à mesma LIS podem estabelecer circuitos virtuais ATM para troca de datagramas IP entre si.
- Os dispositivos de uma mesma LIS compartilham o mesmo prefixo de subrede IP.
 - Todos os membros da LIS estão diretamente conectados à rede ATM.
 - Todos os membros da LIS devem possuir mecanismo (protocolo ATMARP) para resolver endereço IP em endereço ATM, para o caso de SVC e resolver VCs para endereço IP, para o caso de PVCs.

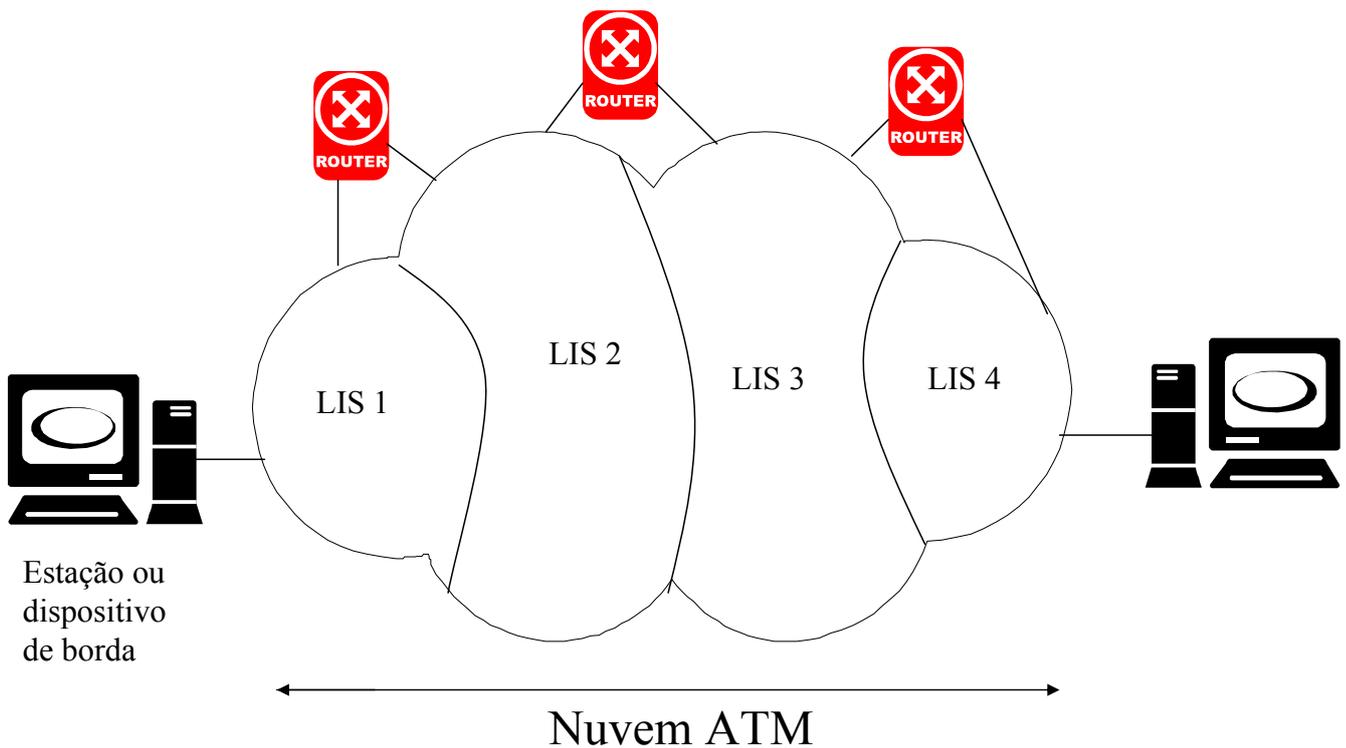
Sub-redes lógicas



Sub-redes IP Lógicas



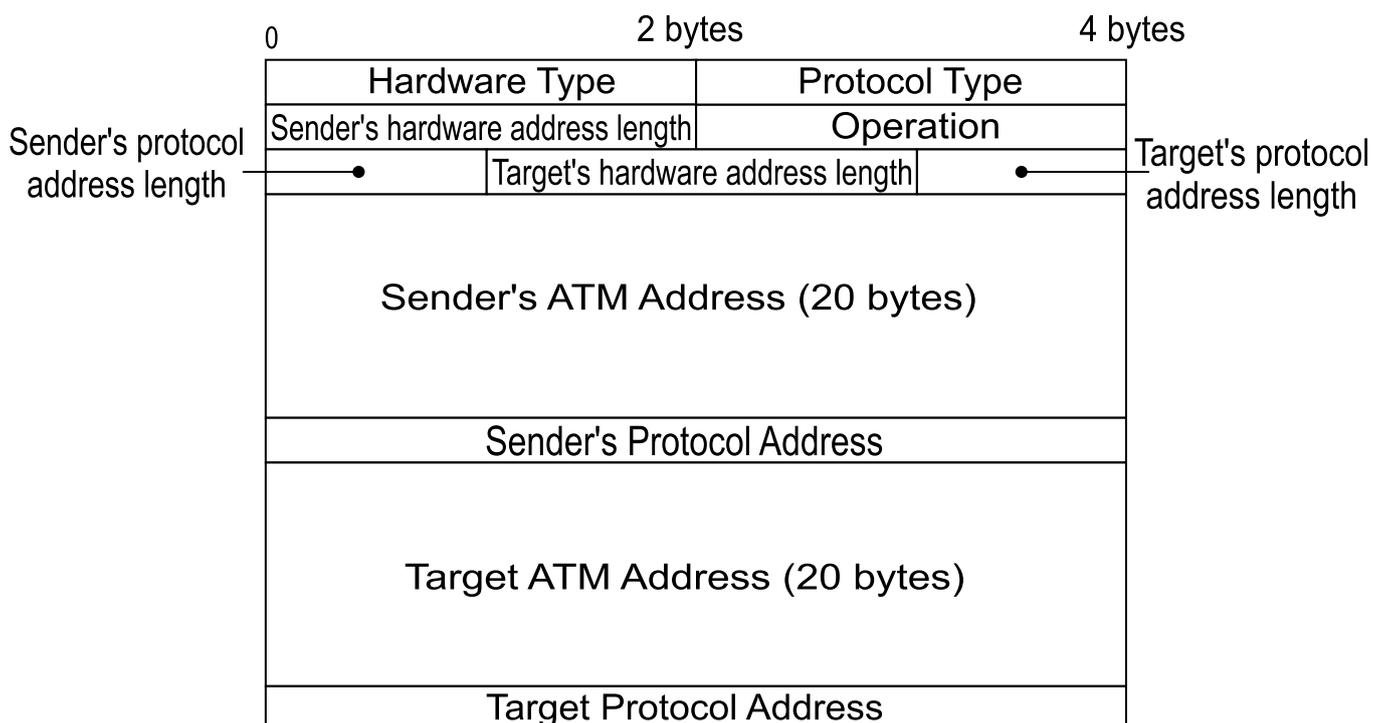
Problema com o modelo overlay



Resolução de endereço IP-ATM

- Utiliza-se o protocolo ATMARP
- Utiliza-se um servidor ATMARP que atende aos dispositivos da sua LIS

Protocolo ATMARP



Protocolo ATMARP

- O campo Hardware Type indica o uso do ATM (0x0013), enquanto o campo Protocol Type indica o uso do IP (0x0800).
- O campo Operation define os tipos de mensagem ATMARP:
 - 1 (decimal) = ATMARP_Request
 - 2 = ATMARP_Reply
 - 8 = InATMARP_Request
 - 9 = InATMARP_Reply
 - 10 = ATMARP_NAK

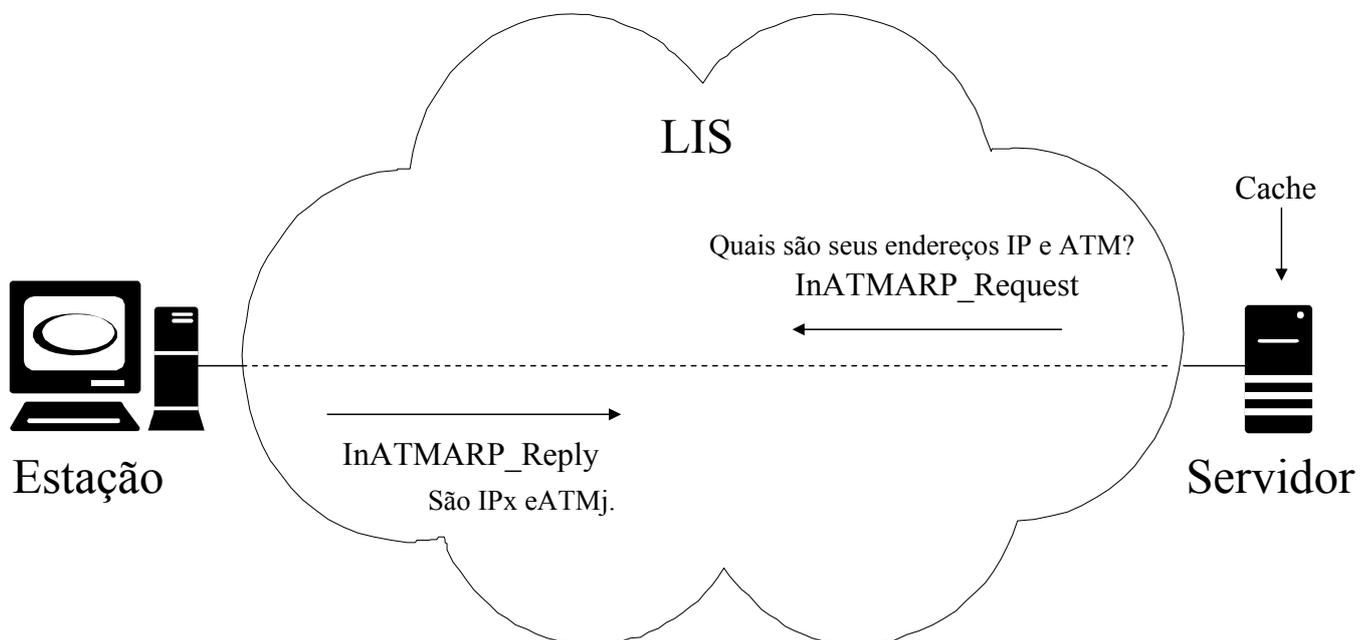
Protocolo ATMARP

- A mensagem ATMARP_Request é enviada pela estação ao servidor ATMARP solicitando a resolução de um endereço IP em um endereço ATM. A mensagem ATMARP_Reply é a resposta enviada pelo servidor à mensagem ATMARP_Request.
- As mensagens InATMARP_Request e InATMARP_Reply são utilizadas para se descobrir os endereços IP e ATM de um dispositivo conectado na extremidade de um circuito virtual já estabelecido (exemplo: PVC).
- As mensagens ATMARP devem ser transportadas em uma PDU da camada de adaptação AAL5 usando encapsulamento LLC/SNAP.

Servidor ATMARP

- Um servidor para cada LIS.
- As estações devem se conectar ao servidor e informar seus endereços IP e ATM (InATMARP).
 - Deve existir um PVC pré-configurado ou a estação deve possuir o endereço ATM do servidor.
- Através da troca de mensagens InATMARP o servidor descobre os endereços IP e ATM da estação.
- O servidor mantém tabela cache com os endereços IP e ATM das estações de sua LIS.
 - Um mesmo servidor (físico) pode atender diferentes LIS, desde que tenha um endereço IP para cada LIS.

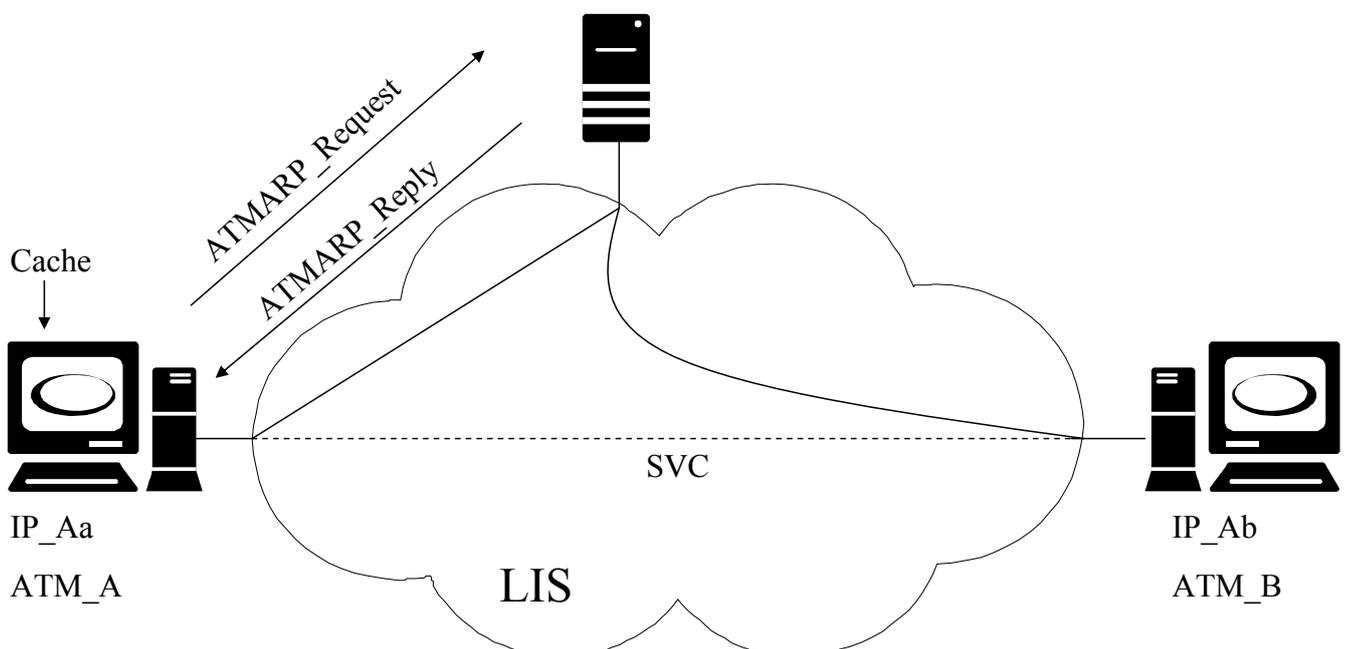
Registro da estação no servidor



Resolução de endereço – exemplo

- A estação A deseja transmitir uma mensagem para a estação B, da qual ela conhece o endereço IP mas não conhece o endereço ATM.
- A e B já estão registradas no servidor ATMARP. A estação A possui endereços IP_Aa e ATM_A, e B possui endereços IP_Ab e ATM_B.
- Os seguintes passos ocorrem:
 - 1) A envia um ATMARP_Request para o servidor solicitando o endereço ATM associado ao endereço IP da estação B (IP_Ab).
 - 2) O servidor consulta sua tabela cache e verifica que o endereço ATM associado ao endereço IP_Ab é ATM_B.
 - 3) O servidor envia um ATMARP_Reply à estação A informando o endereço ATM da estação B (ATM_B). Caso o servidor não conheça o endereço ATM associado ao endereço IP_Ab, a resposta será uma mensagem ATMARP_NAK.
 - 4) A estação A estabelece um SVC com a estação B e passa a trocar dados diretamente com esta estação.
 - 5) A estação A armazena em cache a associação IP_Ab - ATM_B, para uso posterior. Cada entrada de cache da estação tem validade de 15 minutos, após os quais a entrada deve ser revalidada ou apagada.

Resolução de endereço



Lan Emulation - LANE

Objetivos

- Introduzir o ATM no ambiente das redes locais sem alterar os protocolos existentes, preservando portanto o investimento já realizado.
- Tornar a existência do backbone ATM transparente para as aplicações Ethernet.

LANE - Dificuldades

- ATM é orientado a conexão, Ethernet não.
- ATM não suporta broadcast, que é utilizado frequentemente pela Ethernet
- Unidade de transmissão ATM (célula) de tamanho fixo, enquanto na Ethernet (quadro) é variável
- Resolução de endereços MAC (48 bits) e ATM (20 bytes)
- LAN não suporta QoS.

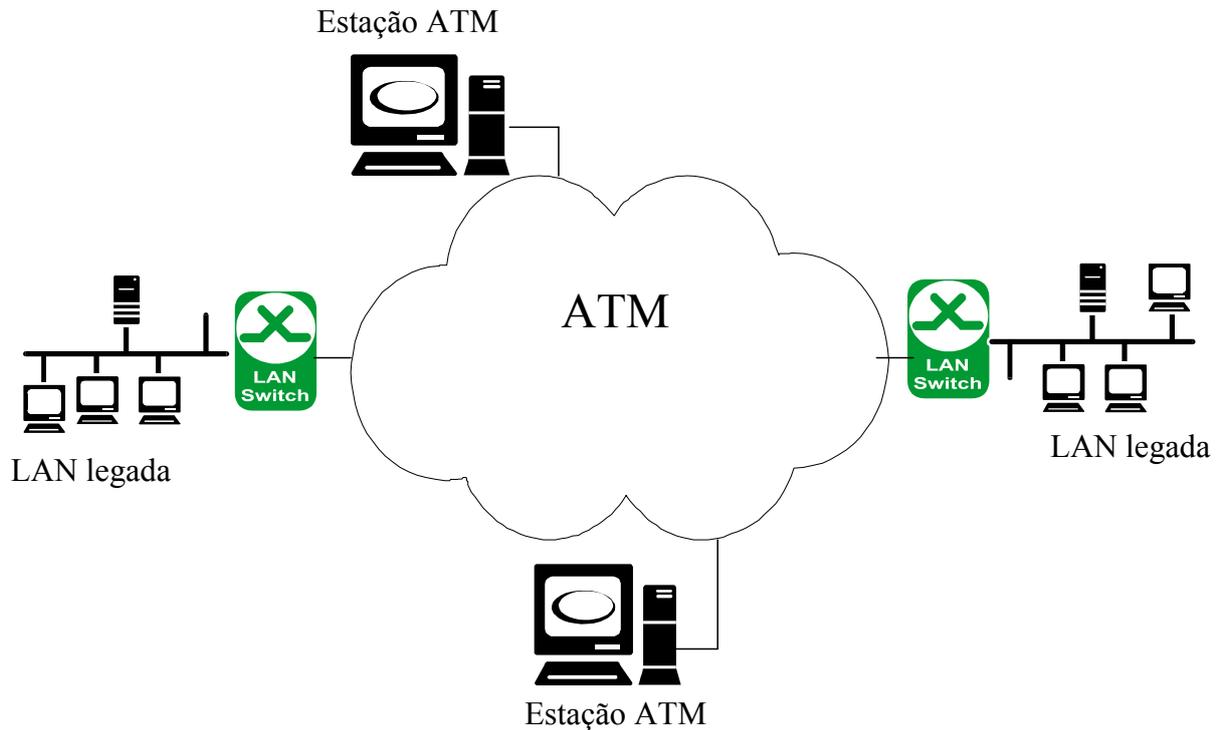
LANE - Tipos de LAN

- Ethernet, Token Ring, etc.
- Não permite conexão entre LANs distintas (não faz conversão de protocolos).
- Uma ou mais LANs emuladas podem coexistir numa mesma rede ATM, mas a comunicação entre elas só é possível através de roteadores ou mecanismos que estendam o serviço de LANE (ex.: MPOA)

LANE – cenário 1

- O cenário 1 mostra redes Ethernet interligadas através de um backbone ATM, ao qual estão conectadas algumas estações ATM.
- É possível troca de mensagens entre estações Ethernet, entre estações ATM, e entre uma estação Ethernet e uma estação ATM.
- Tem-se um único domínio de broadcast em toda a estrutura, mas domínios de colisão distintos.

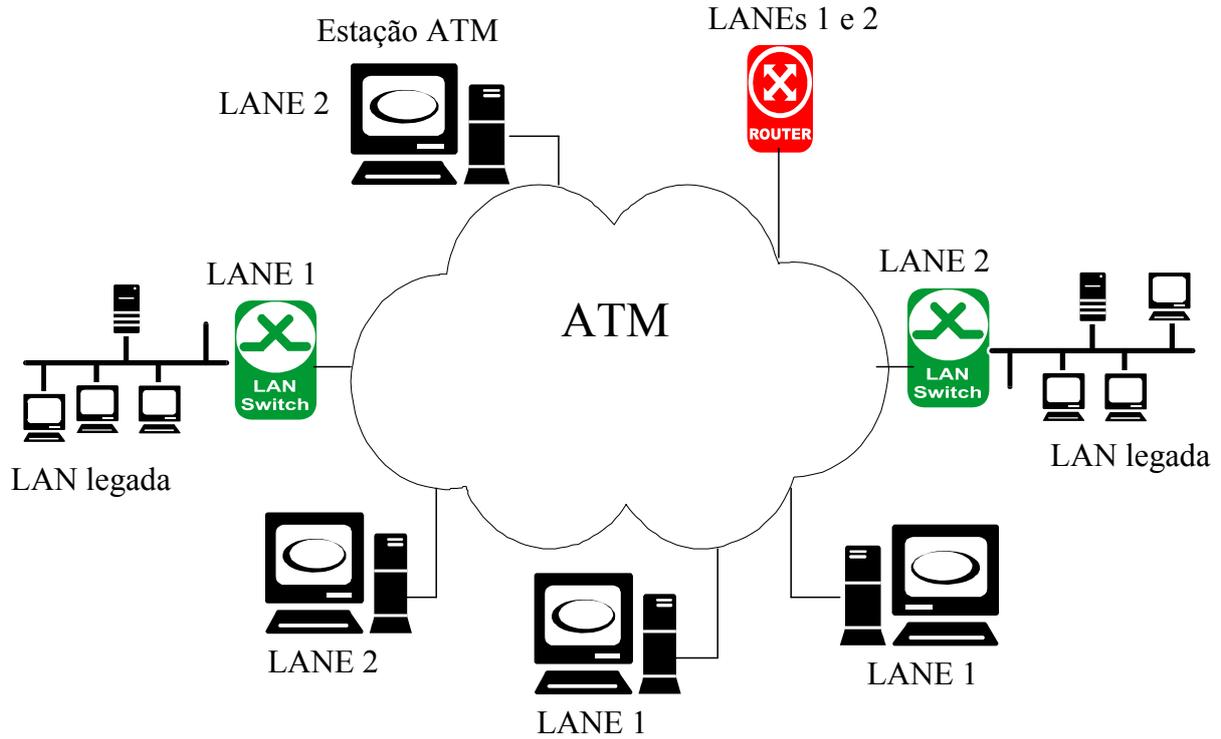
LANE – cenário 1



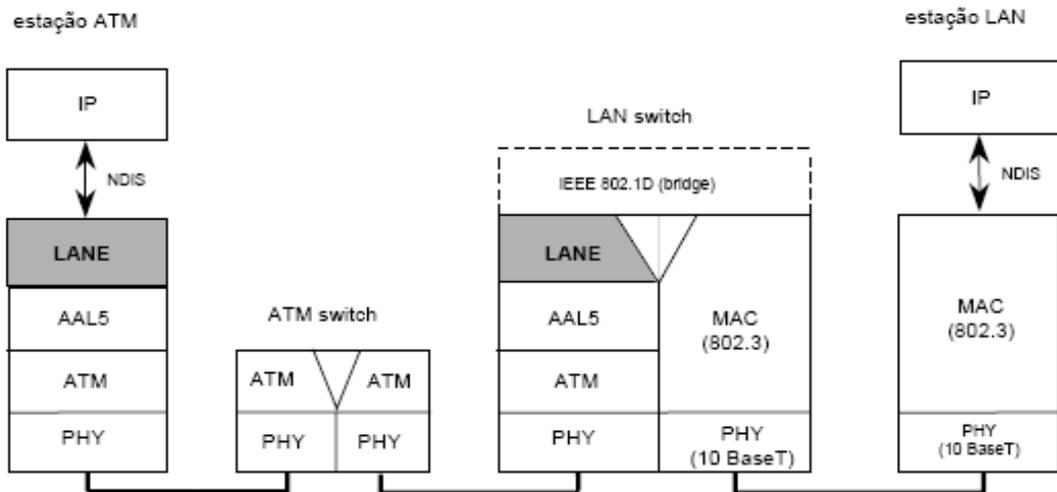
LANE – cenário 2

- No cenário 2 tem-se duas LANs emuladas coexistindo em uma mesma rede ATM.
- A comunicação entre dispositivos das LANs emuladas distintas só pode se dar através do roteador.
 - Veremos, posteriormente, que a solução MPOA permite a criação de um atalho na rede ATM para comunicação entre LANEs distintas, estendendo o serviço de LAN emulada.

LANE – cenário 2



Arquitetura do protocolo LANE



Componentes da LANE

- Lan Emulation Client – LEC
- Lan Emulation Server - LES
- Lan Emulation Configuration Server - LECS
- Broadcast and Unknown Server - BUS

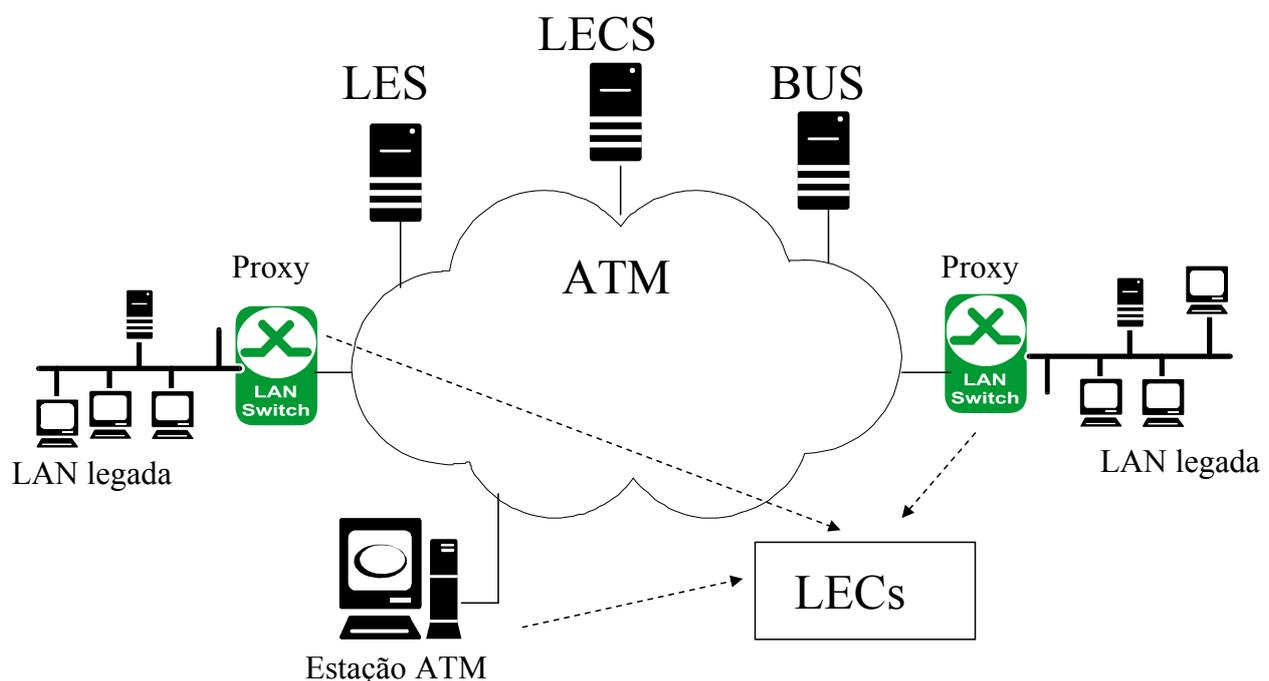
Componentes da LANE

- Lan Emulation Client – LEC
 - Qualquer dispositivo ATM que deseja utilizar os serviços de rede legada ou dispositivos que sirvam de interface entre o ambiente Ethernet e o ambiente ATM (LAN switch)
 - Cada LEC possui um único endereço ATM, e pode estar associado a um único endereço MAC (LEC é uma estação ATM) ou a vários endereços MAC (LEC é um switch atuando como proxy).

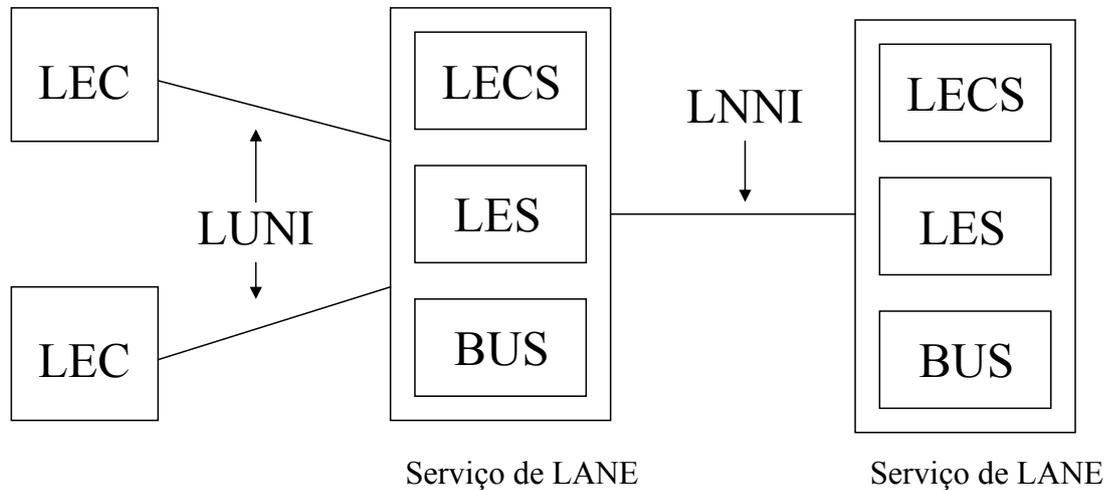
Componentes da LANE

- O serviço LANE é oferecido pelos servidores LES, LECS e BUS, que podem residir no mesmo dispositivo (estação ou switch).
- A função básica do LECS: associar um cliente (LEC) à LAN emulada correspondente.
 - Existe um LECS por domínio administrativo, que serve todas as LANs emuladas.
- O LES controla a adesão dos clientes (LECs) e provê o serviço de resolução de endereço MAC em endereço ATM.
 - Existe um LES para cada LAN emulada.
- O BUS é utilizado para a transmissão de tráfego broadcast e multicast na LAN emulada.
 - Cada LEC está associado a um BUS em sua LAN emulada.

Componentes da LANE



Interfaces do serviço de LANE



LUNI = Lan Emulation User to Network Interface

LNNI = Lan Emulation Network to Network Interface

Interfaces do serviço de LANE

- A interface LUNI é utilizada para a comunicação entre os clientes e os servidores do serviço de LAN emulada.
 - Os seguintes passos podem ser identificados no processo de comunicação:
 - 1) Inicialização: obtenção do endereço ATM dos servidores de LAN emulada.
 - 2) Registro: registro nos servidores dos endereços (MAC e ATM) dos clientes de LAN emulada.
 - 3) Resolução de endereço: processo de descoberta do endereço ATM de um cliente (LEC), a partir do seu endereço MAC.
 - 4) Transferência de dados: troca de mensagens entre LECs, através de uma conexão ATM.

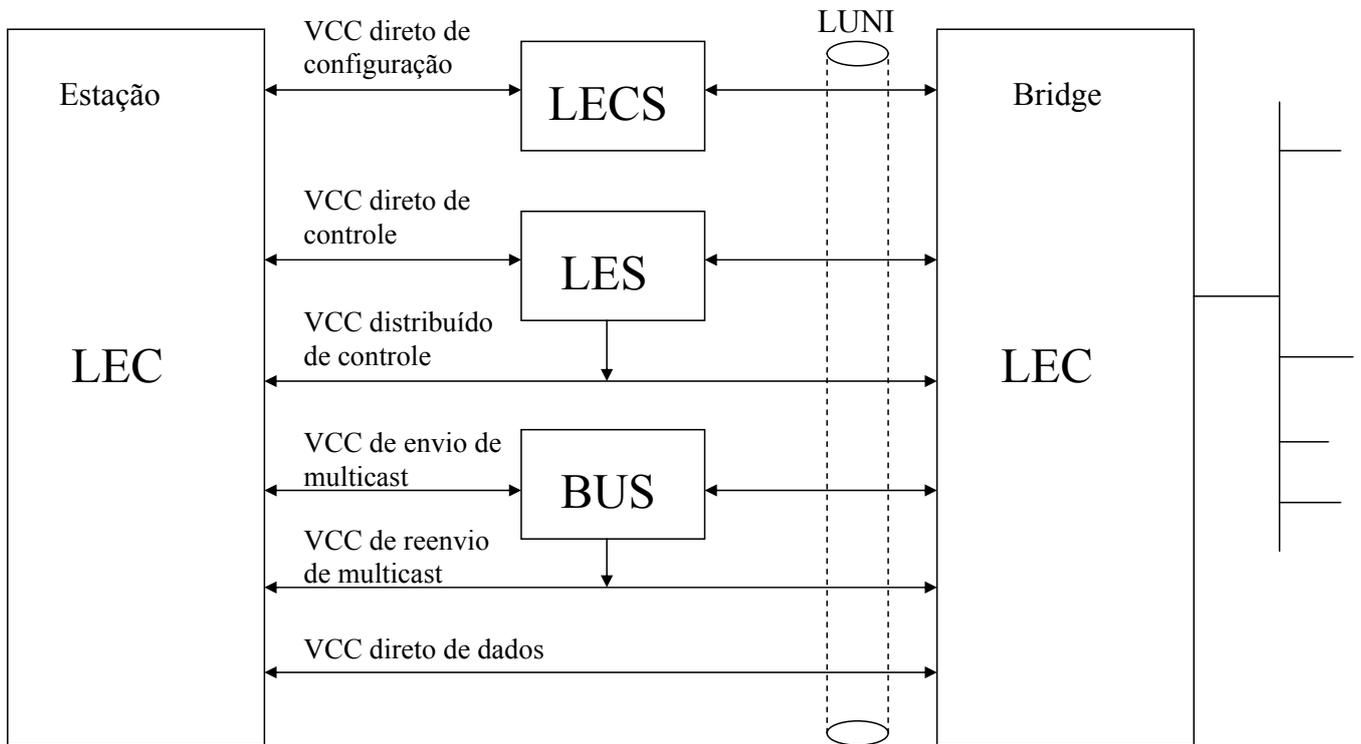
Interfaces do serviço de LANE

- A interface LNNI define a interoperabilidade entre servidores no ambiente da LAN emulada.
 - Esta interface foi especificada na versão 2.0 do LANE, que prevê a utilização de múltiplos servidores LES, LECS e BUS, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e o desempenho do sistema.

Tipos de conexões

- Conexões de Controle
 - Interligam os LECs ao LECS e LES.
 - Transportam quadros LE_ARP e quadros de controle (nunca quadros de dados). Os VCCs de controle são estabelecidos como parte da fase de inicialização. Se classificam em VCC direto de configuração, VCC direto de controle e VCC de distribuição de controle (opcional).
- Conexão de Dados
 - Interligam os LECs entre si e ao BUS.
 - Transportam quadros MAC (IEEE 802.3 ou 802.5) e mensagens de Flush. Não transportam qualquer outra mensagem de controle além da mensagem de Flush. Se classificam em VCC direto de dados, VCC de envio de multicast, e VCC de reenvio (forward) de multicast.

Tipos de conexões



Funções do serviço de LAN Emulada

- Inicialização e Registro
- Resolução de endereço
- Gerenciamento da conexão
- Transferência de dados
- Ordenação de quadros

Funções do serviço de LAN Emulada

- Inicialização e Registro
 - Esta função engloba todos os passos, desde o estado inicial até o momento em que o LEC torna-se operacional.
 - Nestes passos os clientes se juntam à LAN emulada, estabelecem suas conexões de controle e dados com os servidores (LECS, LES e BUS), e registram seus endereços.

Funções do serviço de LAN Emulada

- Resolução de endereço
 - Procedimento pelo qual um cliente associa um endereço MAC a um endereço ATM.
 - Um LEC utiliza este procedimento para descobrir o endereço ATM de outros LECs ou do BUS.

Funções do serviço de LAN Emulada

- Gerenciamento da conexão
 - Esta função diz respeito ao estabelecimento e manutenção das conexões ATM dentro da rede, para fins de controle e troca de dados.
 - As conexões ATM são criadas utilizando-se a sinalização UNI.

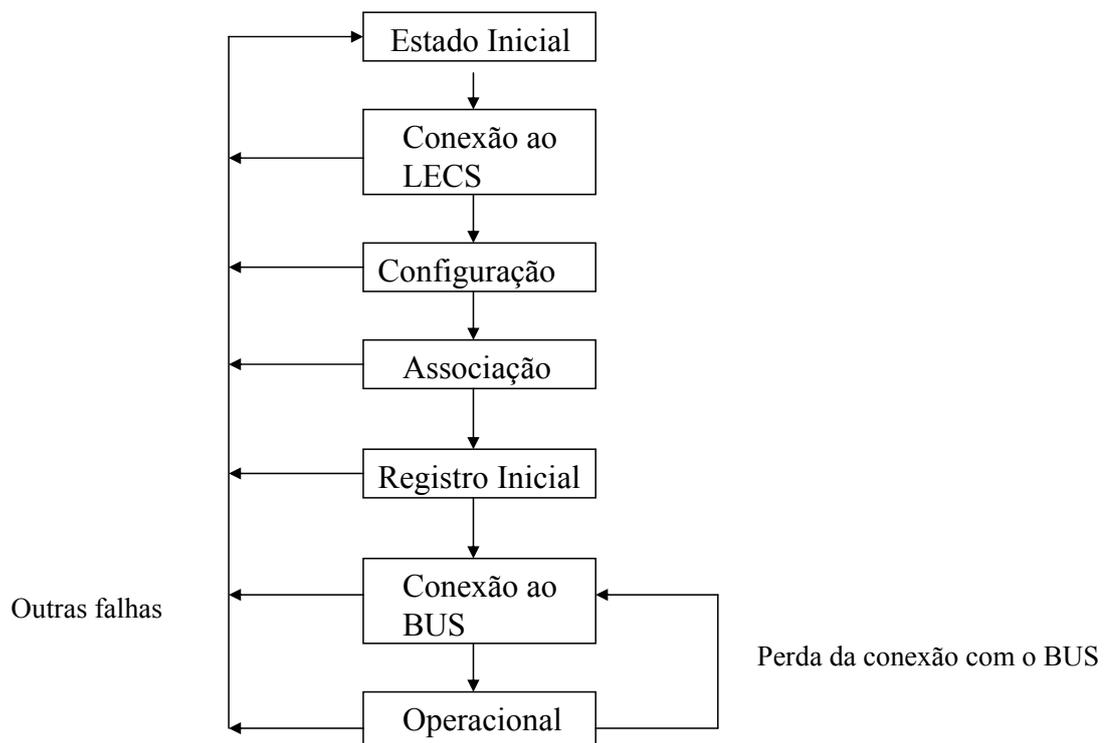
Funções do serviço de LAN Emulada

- Transferência de dados
 - Os dados unicast podem ser enviados diretamente de um cliente para outro ou, opcionalmente, pelo BUS, se a conexão entre clientes ainda não está estabelecida.
 - Dados multicast ou broadcast são enviados através do BUS.

Funções do serviço de LAN Emulada

- Ordenação de quadros
 - A possibilidade de enviar quadros de dados por caminhos distintos (mesmo que não simultaneamente) pode fazer com que os quadros cheguem fora de ordem ao destino.
 - O protocolo Flush é utilizado para evitar que isto ocorra.

Inicialização e Registro



Operação da LANE

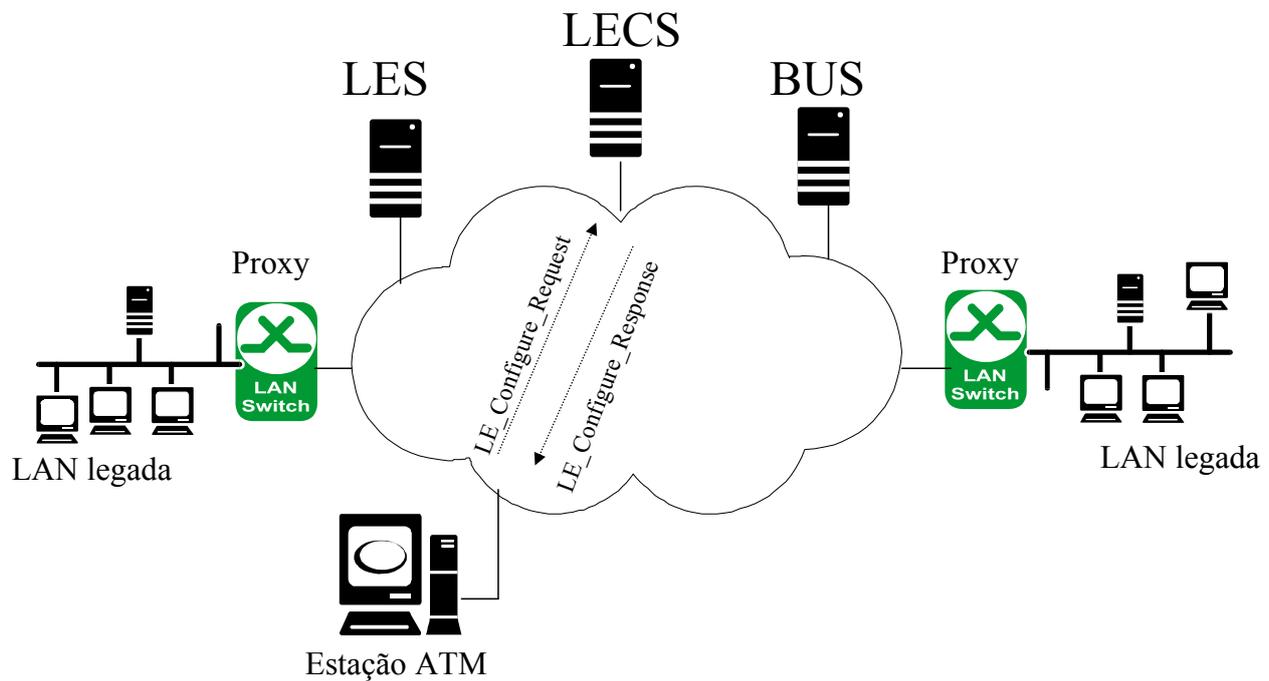
- Conexão ao LECS
 - O cliente descobre o endereço do LECS e estabelece uma conexão com o mesmo.
 - O endereço do LECS pode ser obtido de três formas: do comutador ATM ao qual o cliente está conectado, via procedimento ILMI (Interim Link Management Interface); utilizando-se um endereço fixado pelo ATM-Fórum; utilizando-se um PVC pré-definido (VPI = 0 e VCI = 17).

Operação da LANE

- Configuração
 - O LEC envia uma mensagem de Requisição de Configuração (LE_Configure_Request), especificando seu endereço ATM e, caso a solicitação de configuração tenha sucesso, recebe uma mensagem de resposta (LE_Configure_Response) que contém, dentre outros, os seguintes parâmetros de configuração:
 - tipo de LAN (Ethernet ou Token Ring);
 - tamanho máximo do campo de dados para os quadros MAC;
 - nome da LAN emulada;
 - endereço ATM do LES associado.

Operação da LANE

Conexão ao LECS e configuração

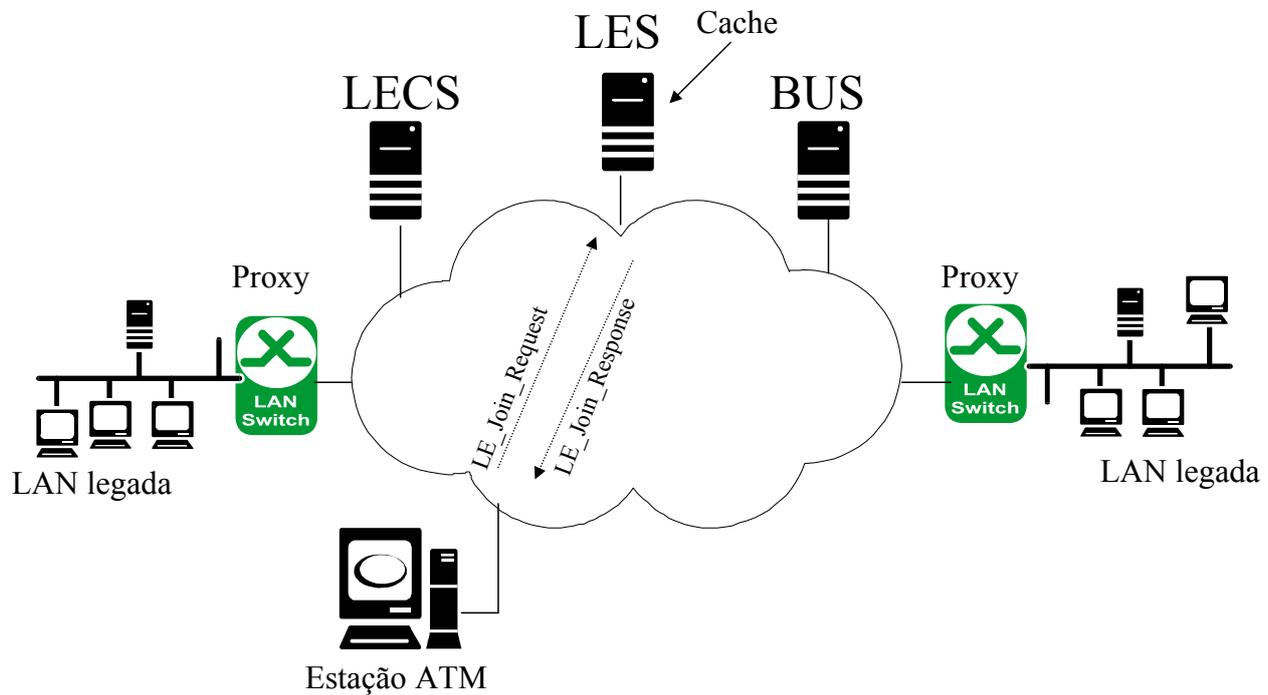


Operação da LANE

- Associação
 - O LEC se conecta ao LES e envia uma mensagem de requisição de associação (LE_Join_Request) a uma dada LAN emulada, informando seus endereços ATM e MAC.
 - O LES salva no cache o par de endereços MAC-ATM do cliente que está se associando.
 - O LES envia uma mensagem LE_Join_Response ao LEC aceitando-o (ou não) na LAN emulada.
 - A resposta pode ser enviada através do VCC direto de controle ou do VCC distribuído de controle.

Operação da LANE

Associação

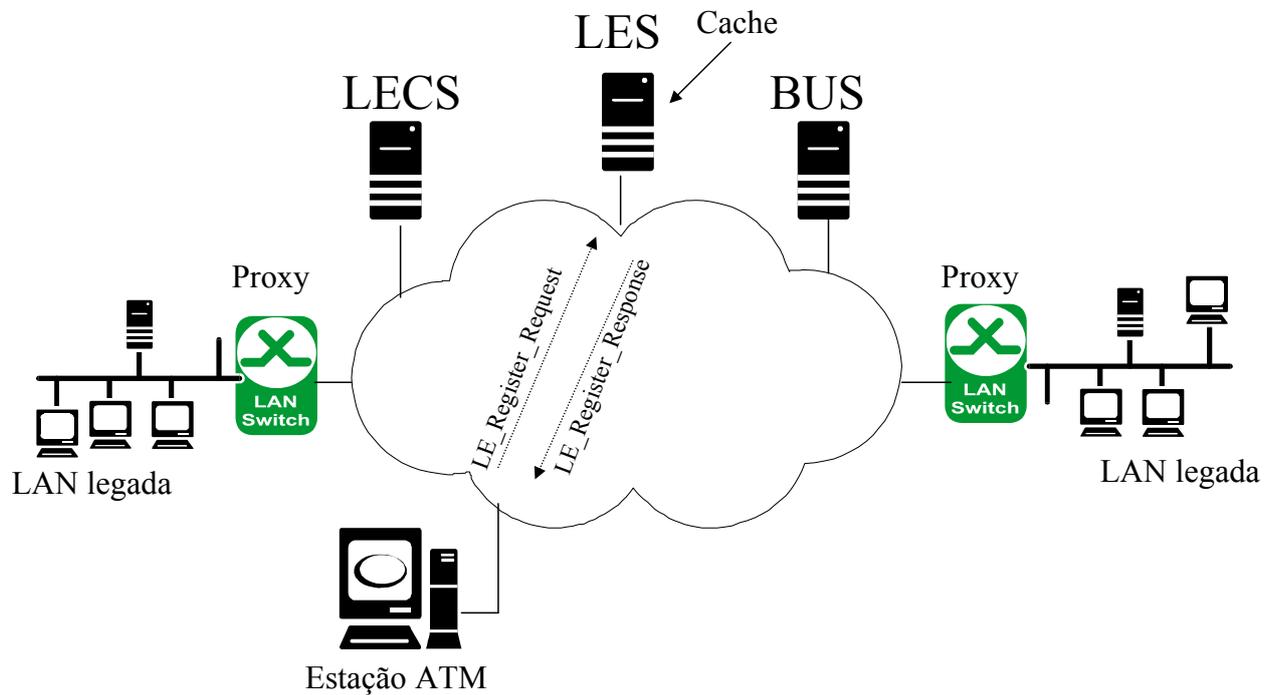


Operação da LANE

- Registro
 - Após a associação à LAN emulada, o LEC pode registrar outros endereços MAC associados a seu endereço ATM (ex.: ponte transparente que vai aprendendo outros endereços MAC).
 - O LES salva no cache os pares de endereços MAC-ATM registrados pelo LEC.
 - Um cliente LEC com um único endereço MAC não precisa utilizar o protocolo de registro, uma vez que todo cliente LEC registra implicitamente um endereço MAC durante a fase de associação.
 - Note que fazer uma associação com um endereço MAC é funcionalmente equivalente a fazer uma associação sem endereço MAC e fazer um registro com um endereço MAC.

Operação da LANE

Registro

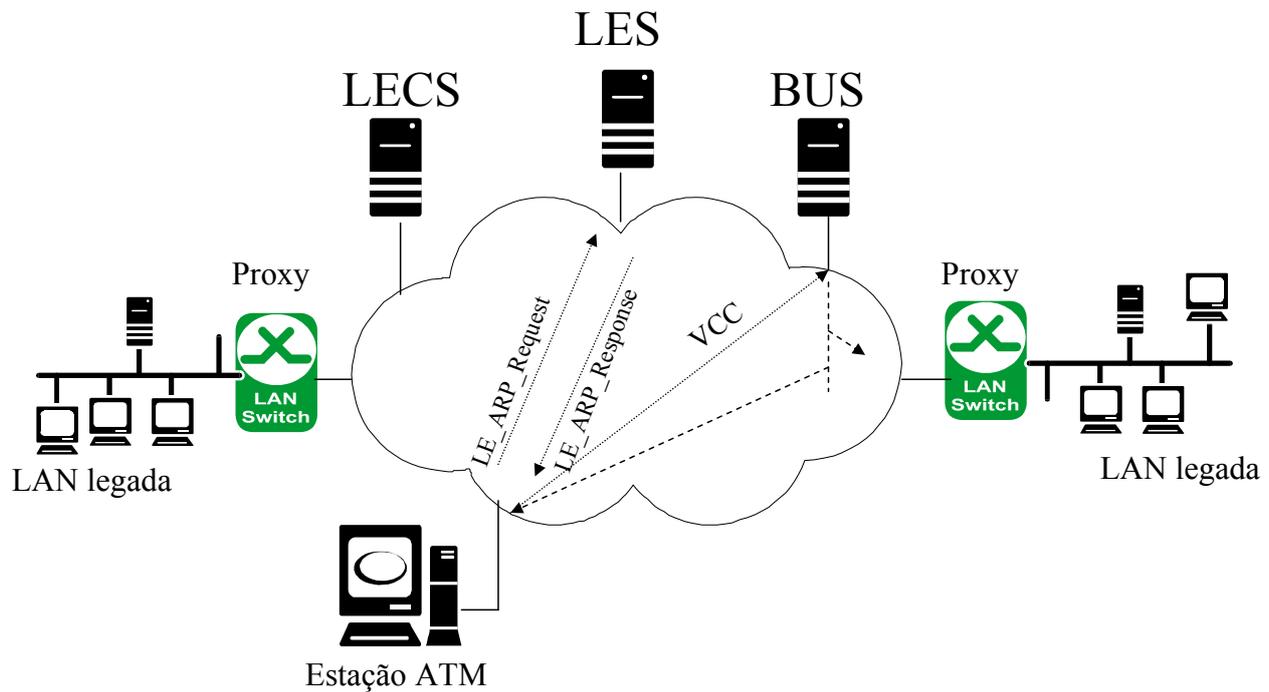


Operação da LANE

- Conexão ao BUS
 - Para se conectar ao BUS o LEC deve primeiro descobrir seu endereço ATM. Para tal, o LEC envia uma mensagem de resolução do endereço de broadcast (FFFFFFFFFFFF) ao LES (LE_ARP_Request). O LES retorna uma mensagem LE_ARP_Response contendo o endereço ATM do BUS.
 - De posse do endereço ATM do BUS o LEC pode então abrir a conexão de envio de difusão com o mesmo. O BUS responderá automaticamente abrindo a conexão de reenvio de difusão com o LEC (é esperado que esta conexão seja ponto-multiponto, mas ela também pode ser implementada como VCCs ponto-a-ponto).

Operação da LANE

Conexão ao BUS

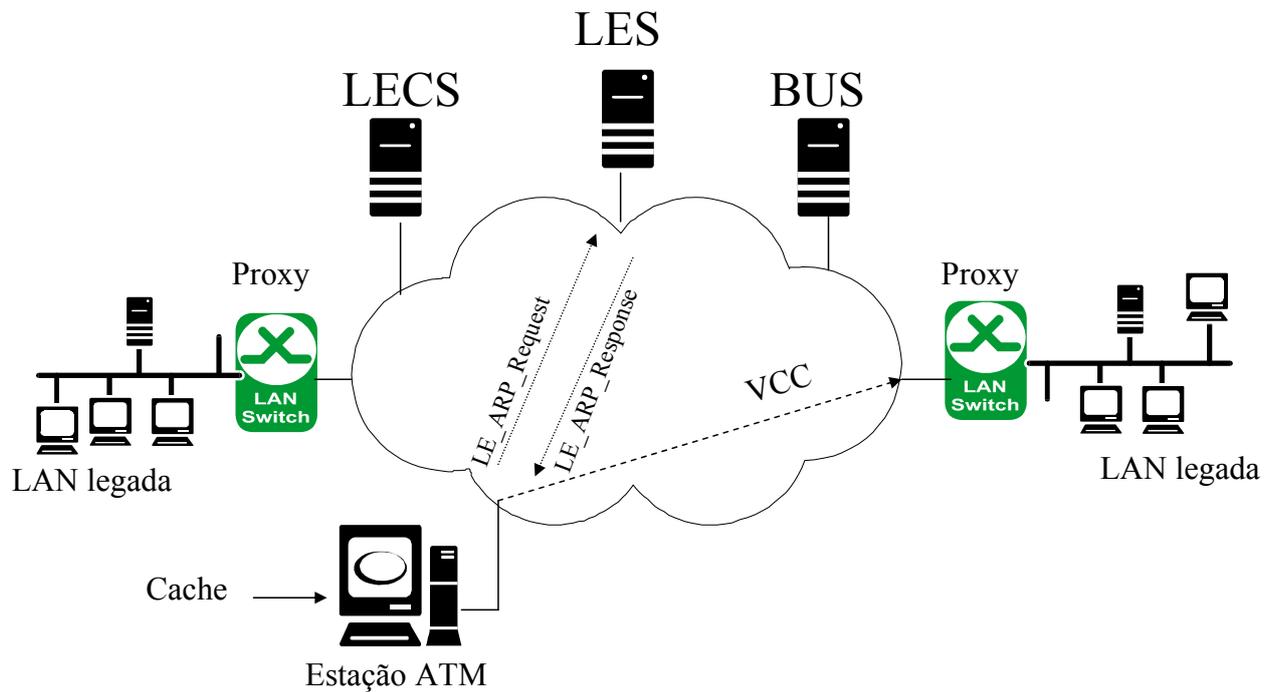


Operação da LANE

- Resolução de endereço (1)
 - Quando um LEC deseja se comunicar com um dispositivo cujo endereço ATM é ainda desconhecido, ele envia uma mensagem LE_ARP_Request ao LES, solicitando o endereço ATM associado ao endereço MAC informado na mensagem.
 - Caso o LES saiba o endereço ATM associado ao endereço MAC solicitado (par de endereços foi anteriormente registrado por outro LEC), ele informa o LEC através de uma mensagem LE_ARP_Response.
 - A resposta pode ser enviada pelo VCC direto de controle ou, opcionalmente, pelo VCC distribuído de controle.
 - O LEC chamador pode então abrir uma conexão com o LEC chamado para posterior troca de dados.

Operação da LANE

Resolução de endereço (1)

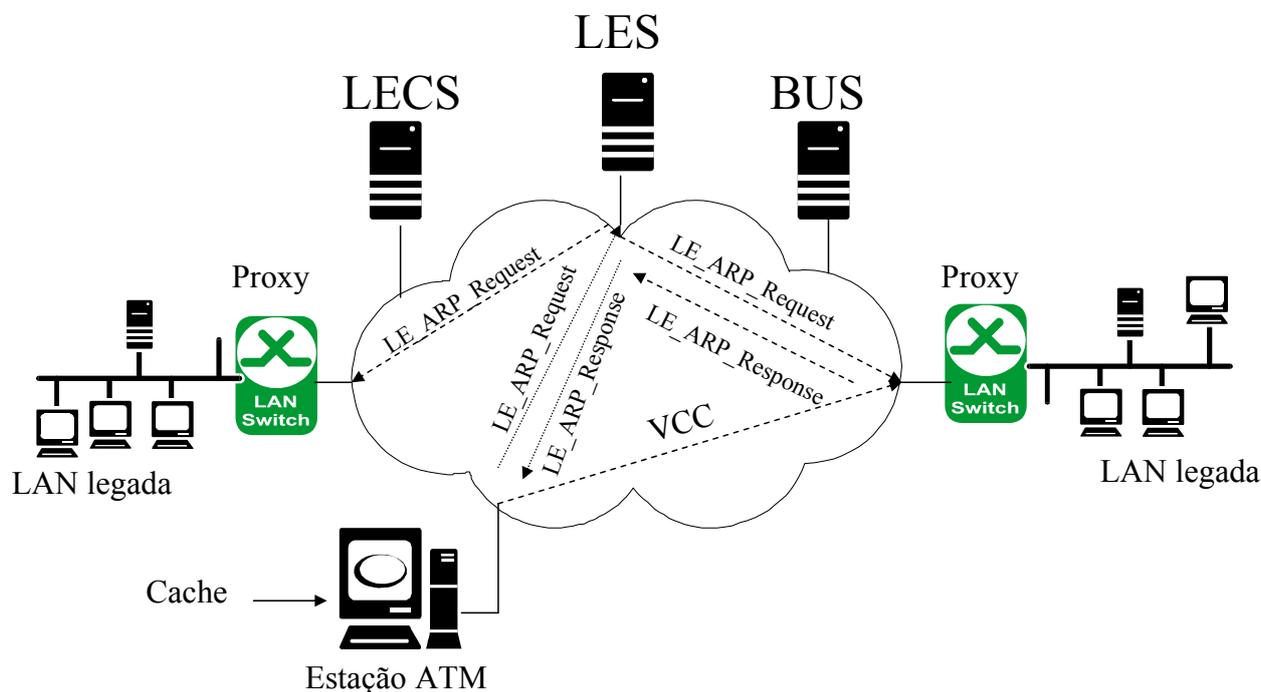


Operação da LANE

- Resolução de endereço (2)
 - Quando o LES recebe a solicitação de resolução de endereço de um par de endereços MAC-ATM desconhecidos (ainda não registrados), ele deve reencaminhar esta requisição para todos os LECs que se registraram como Proxy.
 - O Proxy que estiver atuando como procurador do endereço MAC procurado irá responder à requisição, enviando uma mensagem LE_ARP_Response ao LES, informando seu próprio endereço ATM
 - O LES irá então encaminhar o endereço ATM do Proxy para o LEC, que poderá abrir um VCC para troca de dados.

Operação da LANE

Resolução de endereço (2)

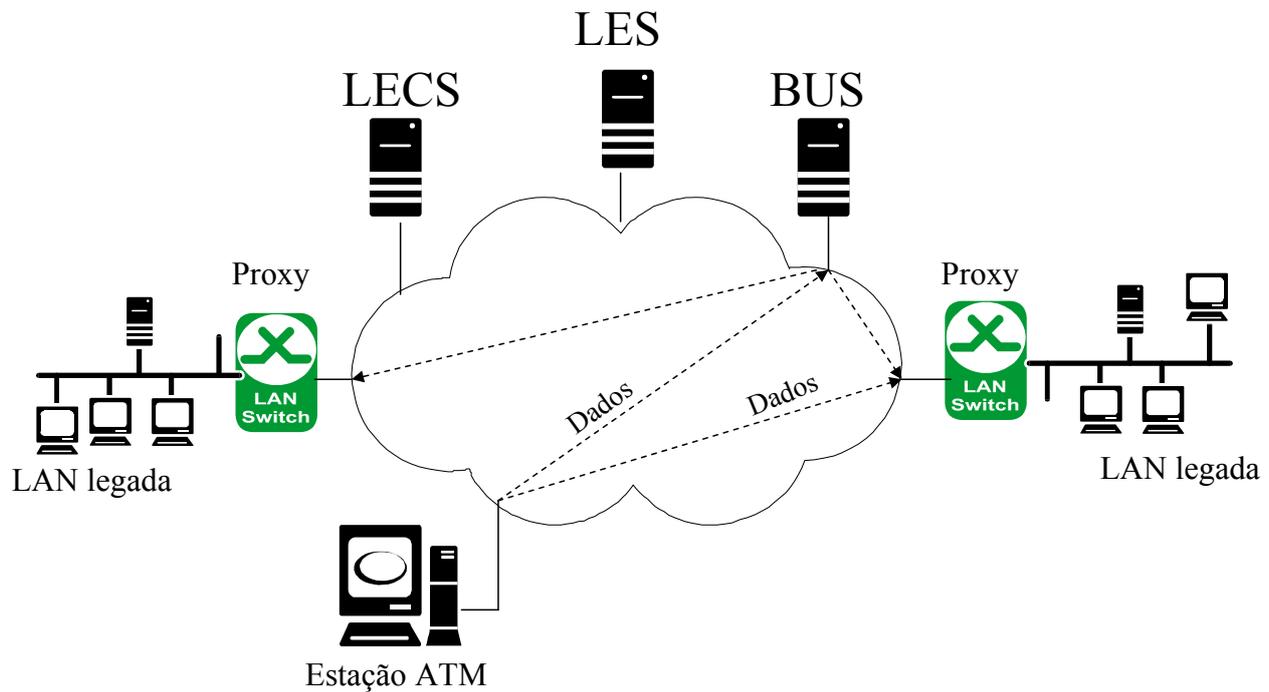


Operação da LANE

- Envio de dados unicast
 - Quando um cliente LEC sabe o endereço ATM do LEC de destino e já possui uma conexão VCC com o mesmo, os dados são enviados diretamente para o cliente de destino.
 - Se o LEC de origem não conhece o endereço ATM do LEC de destino, ou ainda não possui uma conexão com este, ele pode optar por enviar os quadros através do BUS.
 - O BUS, ao receber o quadro, irá encaminhá-lo pelo menos para o cliente de destino. Se o cliente ainda não está registrado, o BUS deve encaminhar o quadro ao menos para os clientes Proxy e opcionalmente para todos os clientes. Esta facilidade é importante, pois a estação MAC de destino pode estar atrás de uma bridge transparente que ainda não tomou conhecimento da estação, e o envio do quadro pelo BUS pode ser a única forma de alcançar a estação.
 - Após estabelecer a conexão com o LEC de destino, os dados podem passar a ser enviados pela conexão direta de dados (LEC-LEC). Mas para tal o protocolo Flush (descrito posteriormente) deve antes ser executado.
 - A conexão direta de dados é desfeita após um período configurável (tipicamente 20 minutos) de inatividade.

Operação da LANE

Envio de dados unicast

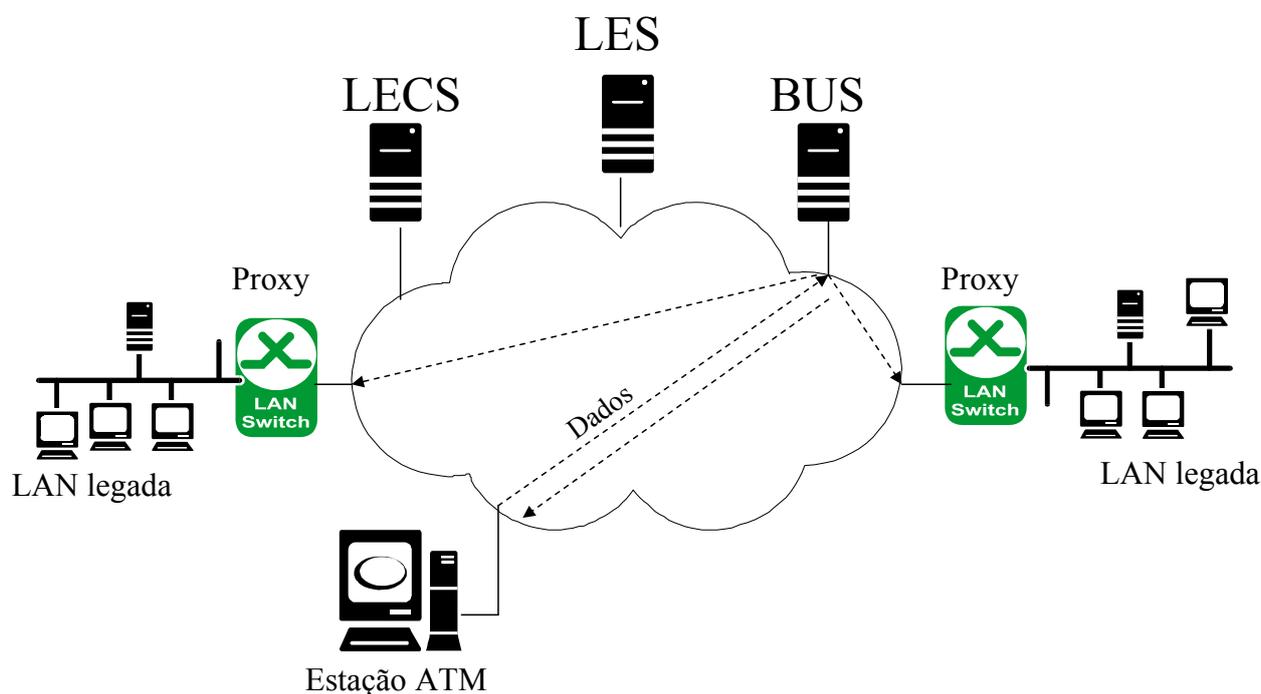


Operação da LANE

- Envio de dados broadcast
 - Quando um cliente deseja transmitir dados em broadcast, ele deve enviar os quadros para o BUS, que irá encaminhá-los através da sua conexão de reenvio de multicast.
 - O cliente LEC que originou o broadcast sabe, através do LECID contido no cabeçalho, que o quadro que está sendo recebido pela conexão multiponto é o mesmo que foi enviado, e portanto o descarta.

Operação da LANE

Envio de dados multicast

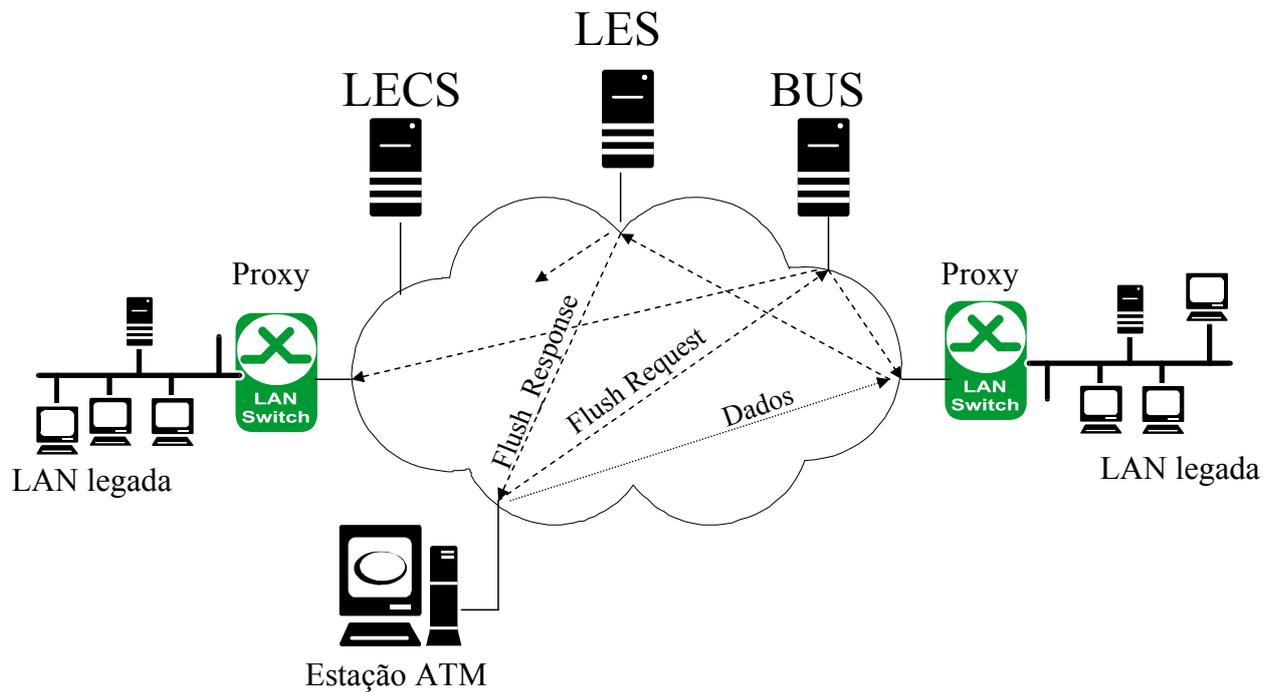


Operação da LANE

- Protocolo Flush
 - O LEC pode iniciar o envio de dados para outro LEC através do BUS, antes que a conexão com o LEC de destino esteja estabelecida.
 - O processo de chaveamento do caminho de envio dos quadros (caminho via BUS para o caminho direto entre LECs) pode fazer com que os quadros cheguem no destino fora da ordem em que foram transmitidos. Para evitar este problema, um LEC que tenha enviado um quadro através do BUS deve enviar uma mensagem denominada Flush_Request pelo mesmo caminho, e aguardar o recebimento da mensagem Flush_Response por parte do LEC de destino, para só então iniciar o envio dos quadros pelo caminho direto.
 - Este procedimento garante a ordem de entrega dos quadros ao LEC de destino.
 - O BUS encaminha a mensagem Flush_Request até o LEC de destino. A mensagem Flush_Response será encaminhada pelo LEC de destino através do LES.

Operação da LANE

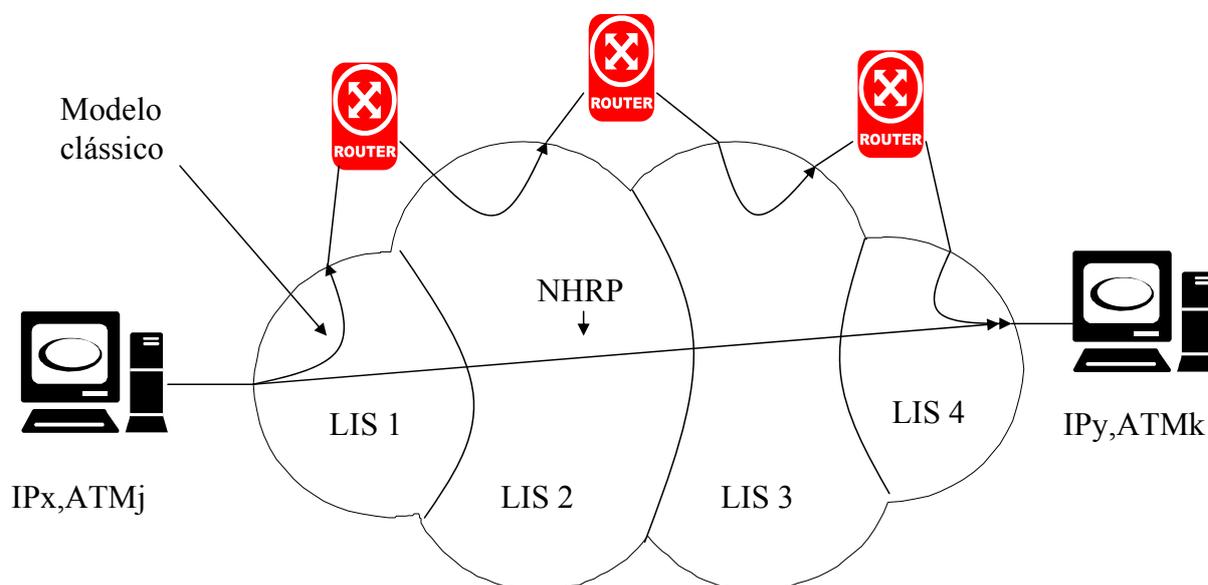
Protocolo Flush



NHRP - Next Hop Resolution Protocol

- No modelo clássico a comunicação entre dispositivos pertencentes a LIS distintas se dá através de roteadores.
- O NHRP é um protocolo de resolução de endereço para redes NBMA (Non-Broadcast-Multi-Access) que mapeia endereços IP em endereços ATM, com o objetivo de criar um atalho na rede ATM para a comunicação de dispositivos pertencentes a LIS distintas.
 - O NHRP procura mapear o endereço ATM mais próximo do destino. Este endereço pode ser o de um dispositivo de borda, e não da estação IP final.
 - O NHRP é utilizado na solução MPOA (Multiprotocol Over ATM), que será vista a seguir. Neste contexto, a LIS é na verdade uma LANE.

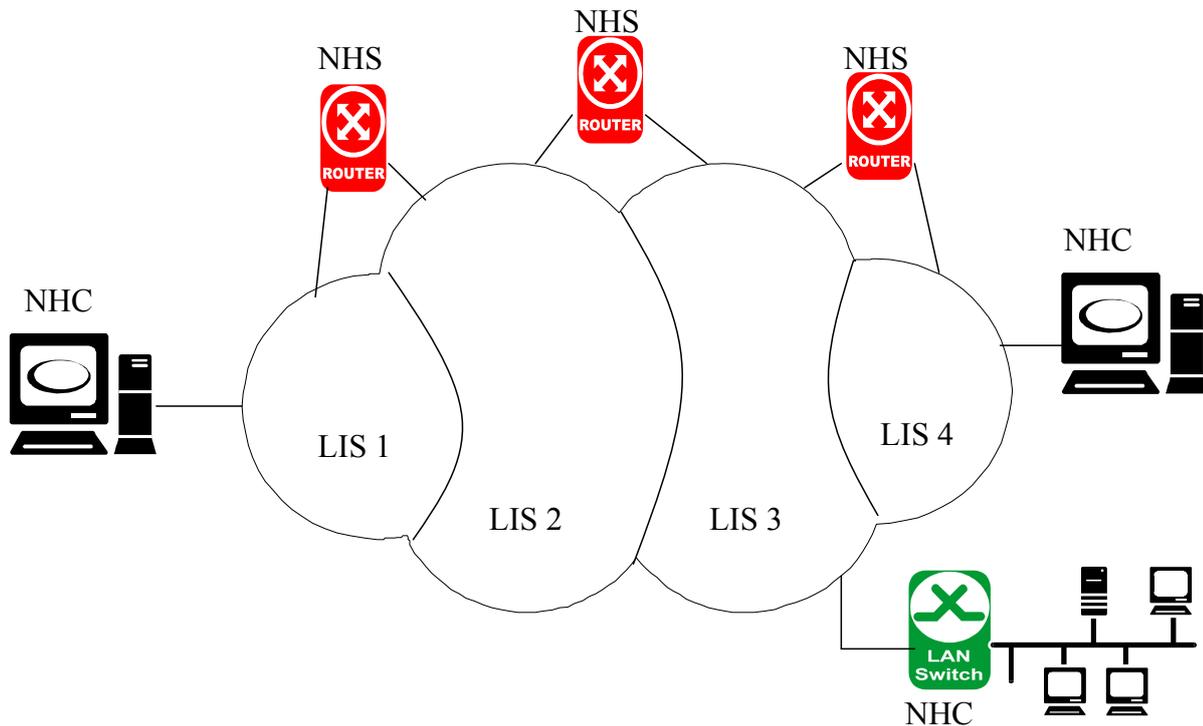
NHRP - Next Hop Resolution Protocol



Componentes do NHRP

- A estrutura do NHRP é baseada no modelo cliente-servidor, com Clientes NHRP (NHC - Next Hop Client) e Servidores NHRP (NHS - Next Hop Server).
- Os servidores NHS normalmente residem nos roteadores que interligam as sub-redes lógicas, e são responsáveis pela resolução de endereços IP e ATM, existindo pelo menos um NHS por sub-rede.
- Os clientes NHC residem em qualquer dispositivo conectado à sub-rede lógica (roteador inclusive) e são usuários do serviço de resolução de endereços para estabelecerem seus atalhos na rede ATM.
- Os clientes devem se registrar em seu servidor NHS, informando seus endereços IP e ATM. É permitido ao cliente enviar seus pacotes pelo caminho roteado normal enquanto o endereço ATM está sendo resolvido.

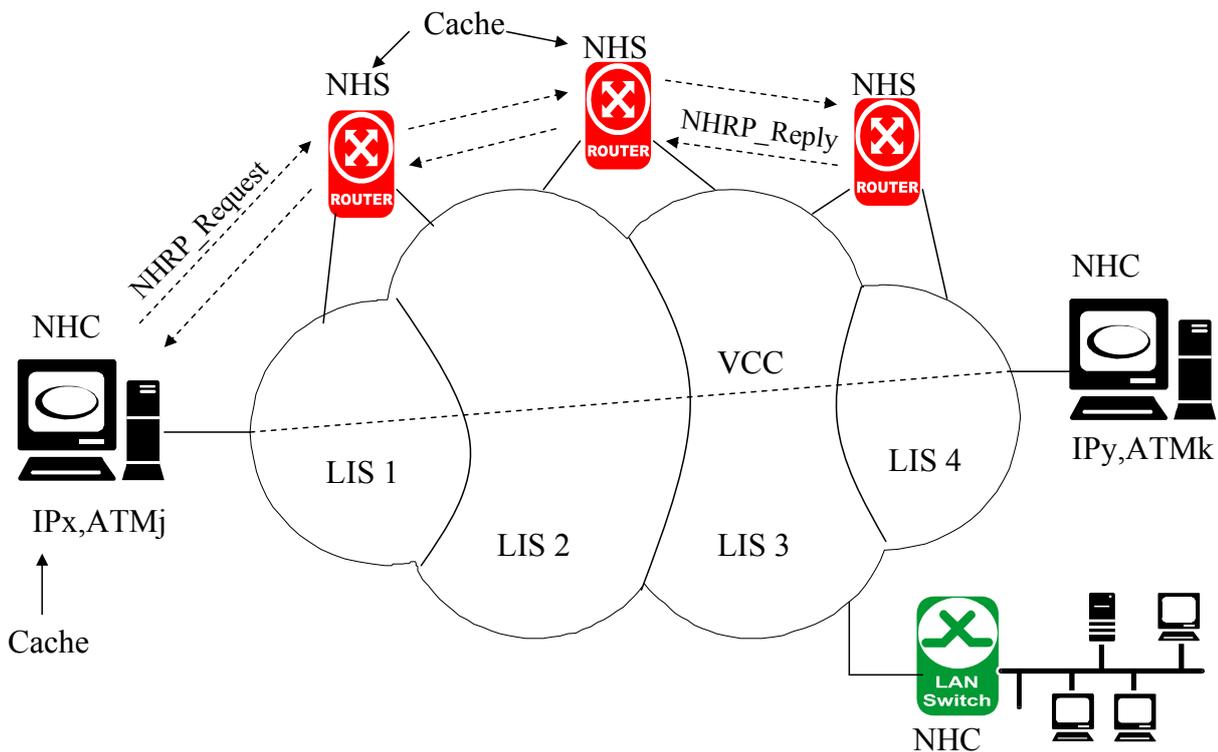
Componentes do NHRP



Princípio de operação do NHRP

- Quando um NHC precisa resolver o endereço de uma estação de destino, ele envia uma mensagem de requisição de endereço a seu servidor.
 - Se o servidor possui, armazenado em seu cache, o registro associado ao endereço solicitado, ele informa o cliente do endereço ATM do destino.
 - Caso contrário, o NHS envia a requisição para o NHS “next-hop” na direção do destino (para tal, o roteamento IP tradicional é utilizado).
 - O processo continua até que a requisição chegue a um NHS que possua em seus registros informação para resolver o endereço.
- Uma mensagem de resposta NHRP (NHRP_Reply) é gerada, contendo o endereço ATM associado ao endereço IP do destino (o endereço ATM pode ser de um dispositivo de borda).
- Os NHSs e NHC armazenam em seus caches o endereço resolvido, para utilização futura.

Princípio de operação do NHRP



Multiprotocol Over ATM MPOA

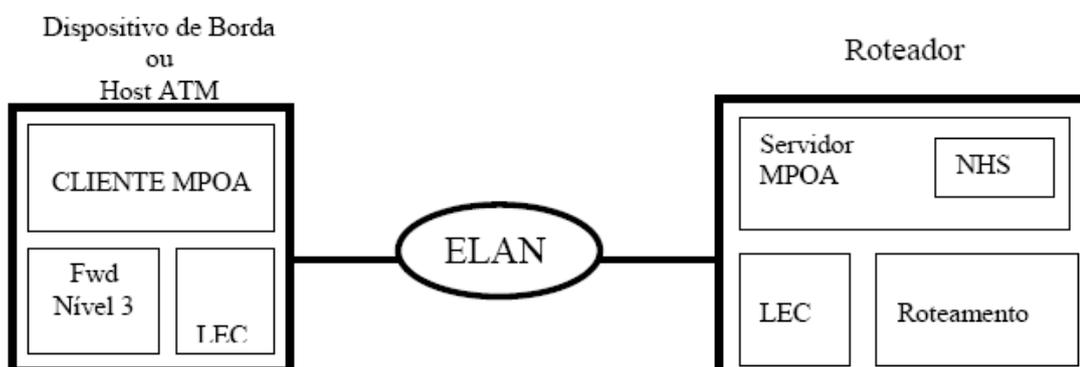
- Elimina o roteamento hop-by-hop, criando um atalho na rede ATM.
- O processo de criação do atalho é disparado pela detecção de um fluxo, por um host ou dispositivo de borda MPOA-capaz
 - O MPOA estabelece, a partir da detecção de um fluxo por um host ou dispositivo de borda MPOA, um atalho entre o dispositivo de ingresso e o dispositivo de egresso na rede ATM, no caminho entre origem e destino, evitando com isto o caminho roteado.
 - Um fluxo é definido como um tráfego de pacotes entre uma origem e um destino com uma taxa (pacotes/seg) superior a um certo limiar.

Componentes do MPOA

- MPOA Client - MPC
 - Dispara o processo de criação do atalho para o encaminhamento dos pacotes
- MPOA Server - MPS
 - Reside em um roteador.
 - Resolve o endereço IP de destino no endereço ATM de saída mais próximo do destino.
 - Inclui a funcionalidade de servidor NHRP (NHS)

Componentes do MPOA

- O MPOA utiliza o serviço de LAN emulada (LANE) para troca de mensagens entre seus componentes no âmbito de uma LANE.
- Para a resolução de endereço, o servidor MPOA utiliza o protocolo NHRP.



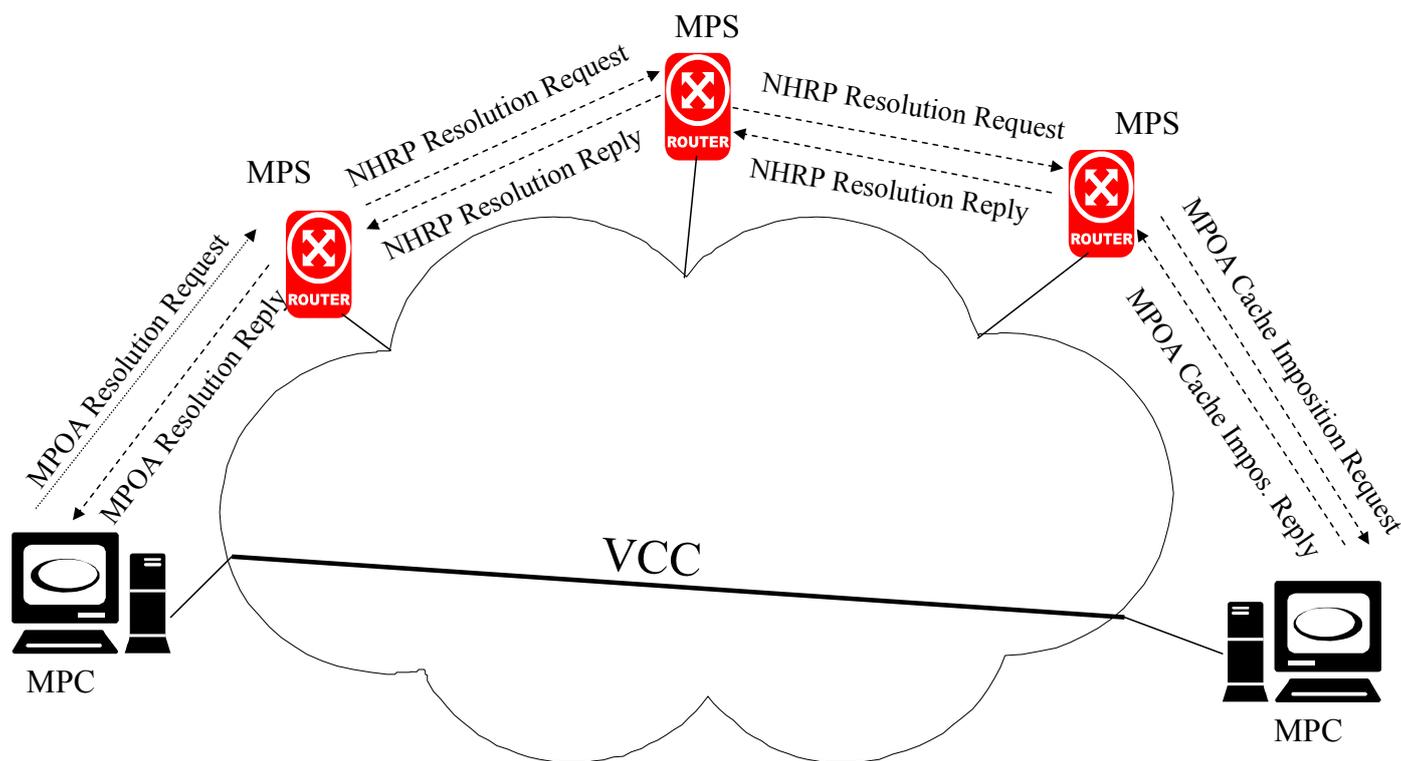
Princípio de operação do MPOA

- Um cliente MPOA que detecte um fluxo para um dado destino inicia o estabelecimento de um atalho pela rede ATM.
 - Para tal, o cliente envia uma mensagem MPOA_Resolution_Request para o seu servidor (MPS), solicitando o endereço ATM associado ao endereço IP de destino.
 - O servidor consulta seu cache e, caso já conheça a associação ATM-IP solicitada, informa o endereço ATM para seu cliente. Caso contrário, o MPS envia uma mensagem NHRP_Resolution_Request para o próximo servidor MPS na direção do destino.
 - Este processo continua até que a resolução NHRP chegue a um MPS (MPS de egresso) que possa resolver o endereço IP no endereço ATM.

Princípio de operação do MPOA

- O MPS de egresso envia uma mensagem de Imposição de Cache ao MPC de egresso (MPOA_Cache_Imposition_Request) e, após receber o reply do MPC, envia o endereço ATM solicitado de volta ao MPS anterior, através de uma mensagem NHRP_Resolution_Reply.
 - O processo continua até que o endereço ATM chegue ao MPS de ingresso, que o envia ao MPC de ingresso através de uma mensagem MPOA_Resolution_Reply.
 - Neste momento, uma conexão ATM pode ser estabelecida diretamente entre os MPCs de ingresso e egresso, deixando-se de lado o caminho roteado.
 - Os servidores e clientes MPOA armazenam em seus caches o par de endereços resolvido, para uso posterior.
- Enquanto o endereço está sendo resolvido, o MPC de ingresso pode enviar os dados pelo caminho roteado, para evitar atrasos.

Princípio de operação do MPOA



Soluções segundo o modelo Peer

- Ip Switching (Ipsilon Networks)
- Tag Switching (Cisco)
- IP Navigator (Cascade Communication Corp.)
- MPLS – Multiprotocol Label Switching (IETF)

Interconexão ATM x Frame relay

132

Frame Relay x ATM - Padrões

- Recomendação I.555 do ITU-T (1993)
 - Frame relaying bearer service interworking.
- Especificações FRF.5 e FRF.8 do Frame Relay Fórum (1994)
 - Frame Relay/ATM PVC Network Interworking Implementation Agreement - FRF.5
 - Frame Relay/ATM PVC Service Interworking Implementation Agreement - FRF.8

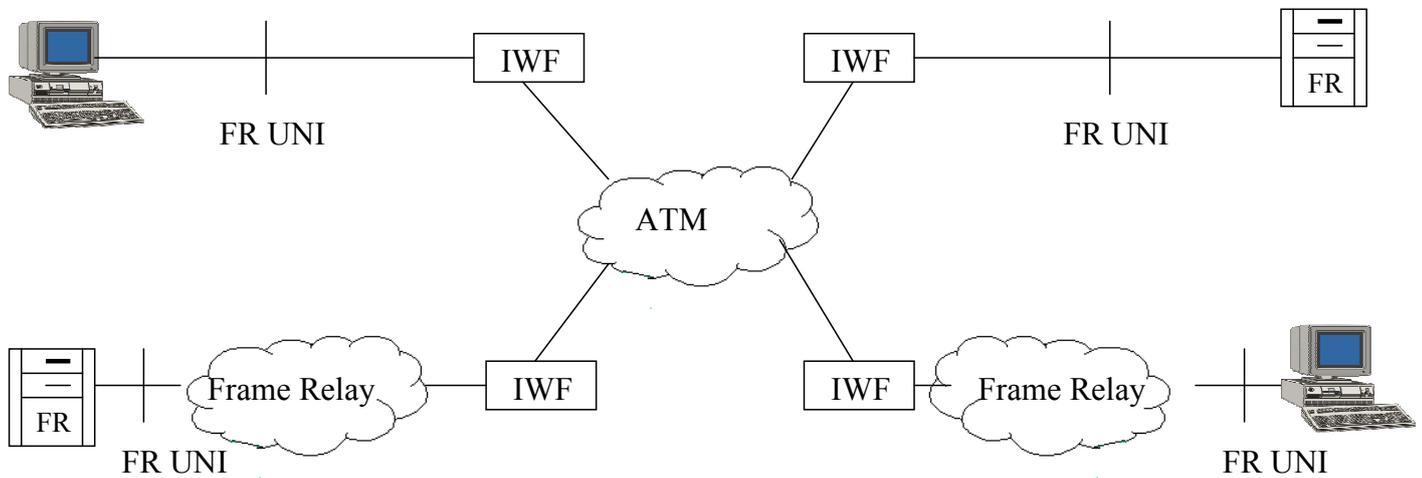
Frame Relay x ATM - Padrões

- Especificação B-ICI do ATM Fórum (1995)
 - BISDN Inter-Carrier Interface Specification, version 2.0, af-bici-0013.003
- Recomendação I.365.1 do ITU-T (1993)
 - Frame relaying service specific convergence sublayer (FR-SSCS)

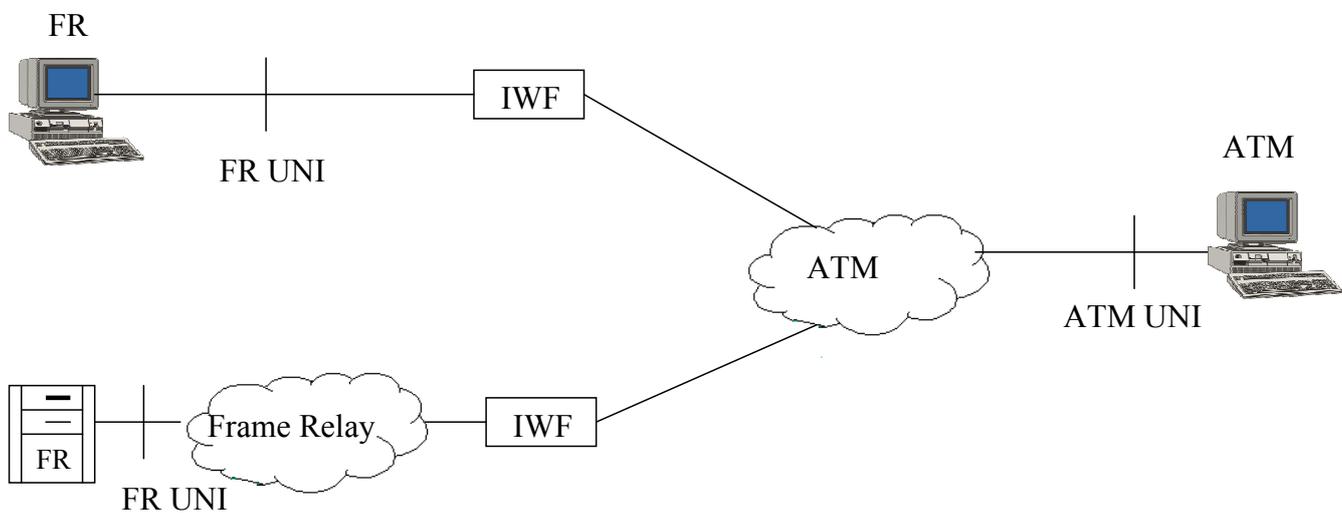
Frame Relay x ATM

- Network Interworking
 - Frame relay é transportado de forma transparente sobre a rede ATM
 - Na interface entre as redes um dispositivo IWF (Interworking Function) provê as funções de mapeamento e encapsulamento para preservar os parâmetros do serviço frame relay sobre o ATM.
 - O uso do ATM não é visível para os usuários finais
- Service Interworking
 - Dispositivo terminal frame relay se (inter)conecta com dispositivo terminal ATM

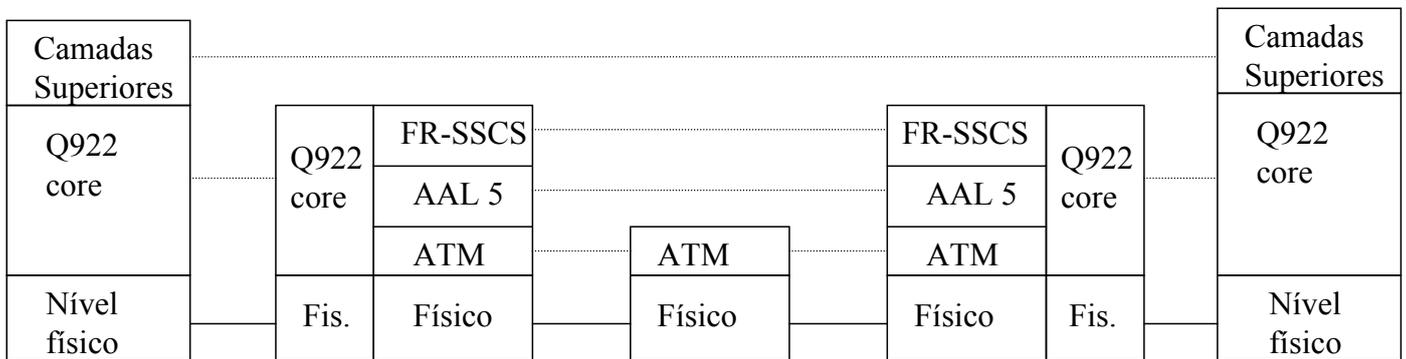
FR x ATM - Network Interworking



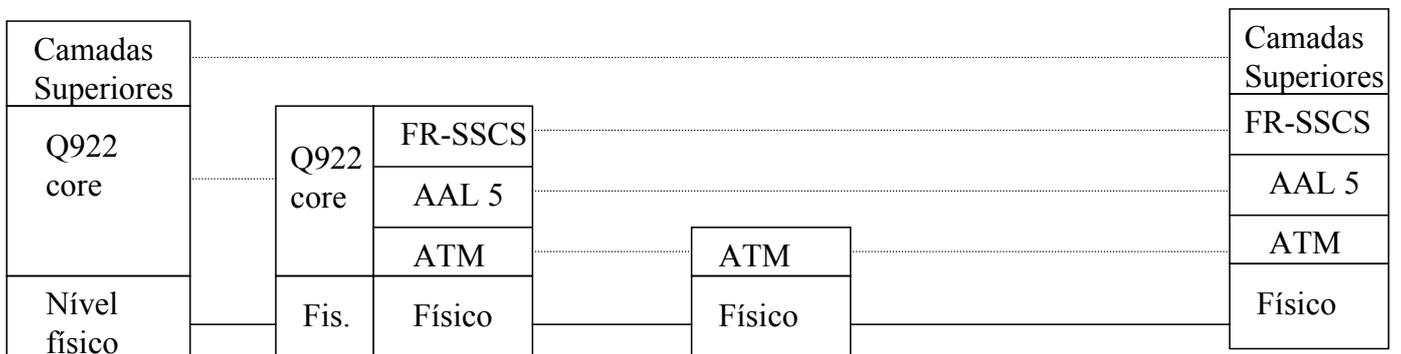
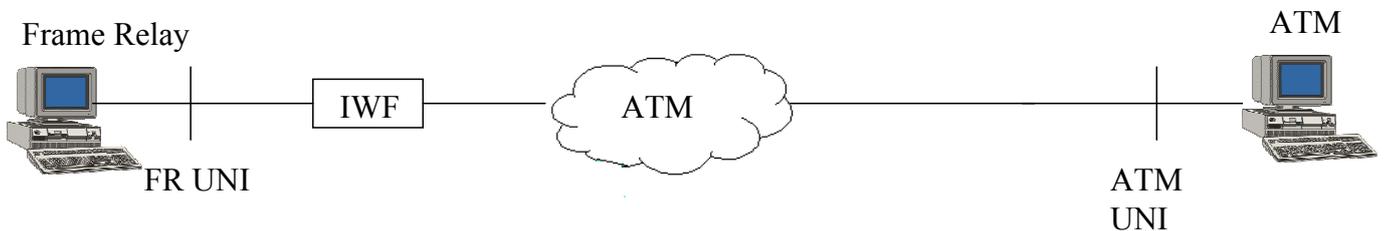
FR x ATM - Service Interworking



FR x ATM - Network Interworking (cenário 1)



FR x ATM - Network Interworking (cenário 2)



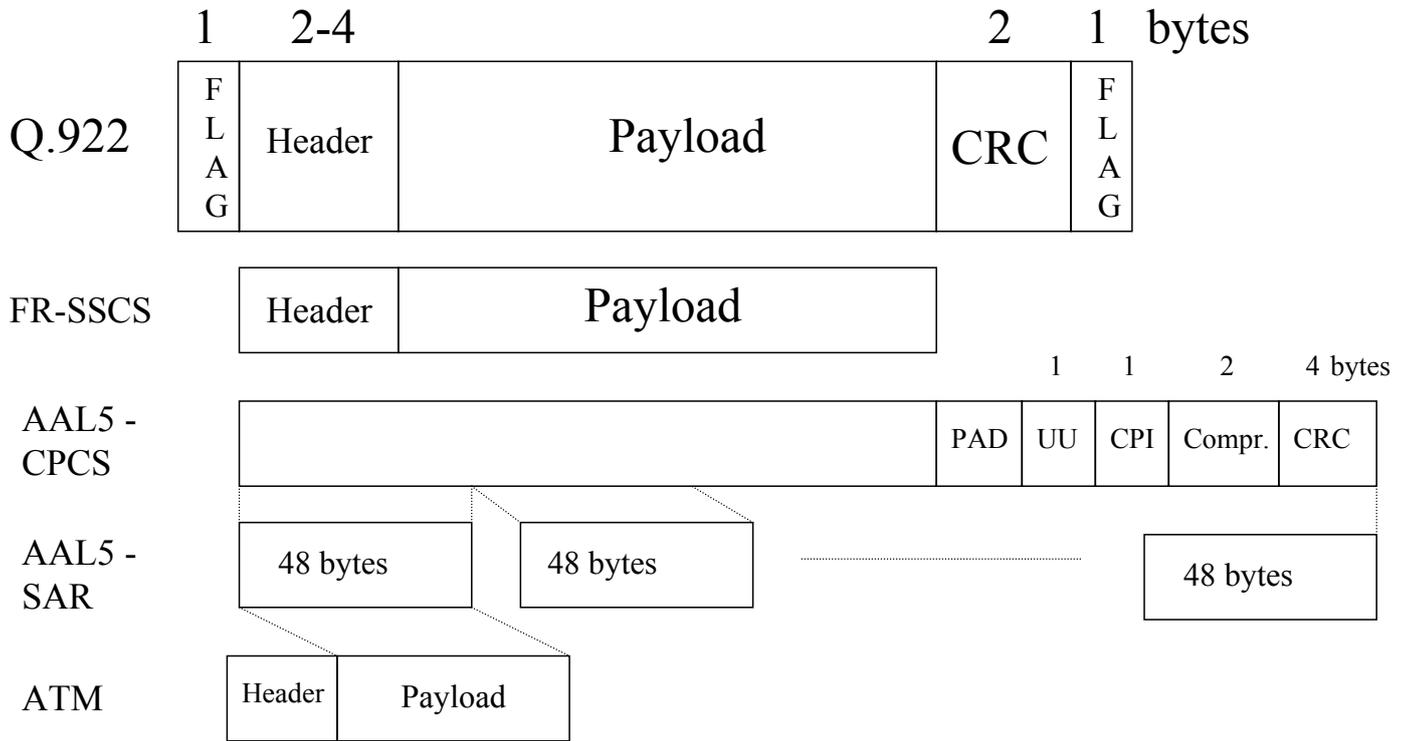
Funções do IWF

- O IWF é responsável pelas funções de encapsulamento e mapeamento do protocolo Frame Relay no ATM.
- O IWF deve prover meios para suportar as seguintes funções do Frame Relay:
 - Formatação e delimitação de PDUs de comprimento variável
 - Detecção de erro
 - Multiplexagem de conexões
 - Indicação de prioridade de descarte
 - Indicação de congestionamento (para frente e para trás)
 - Gerenciamento do status de PVC

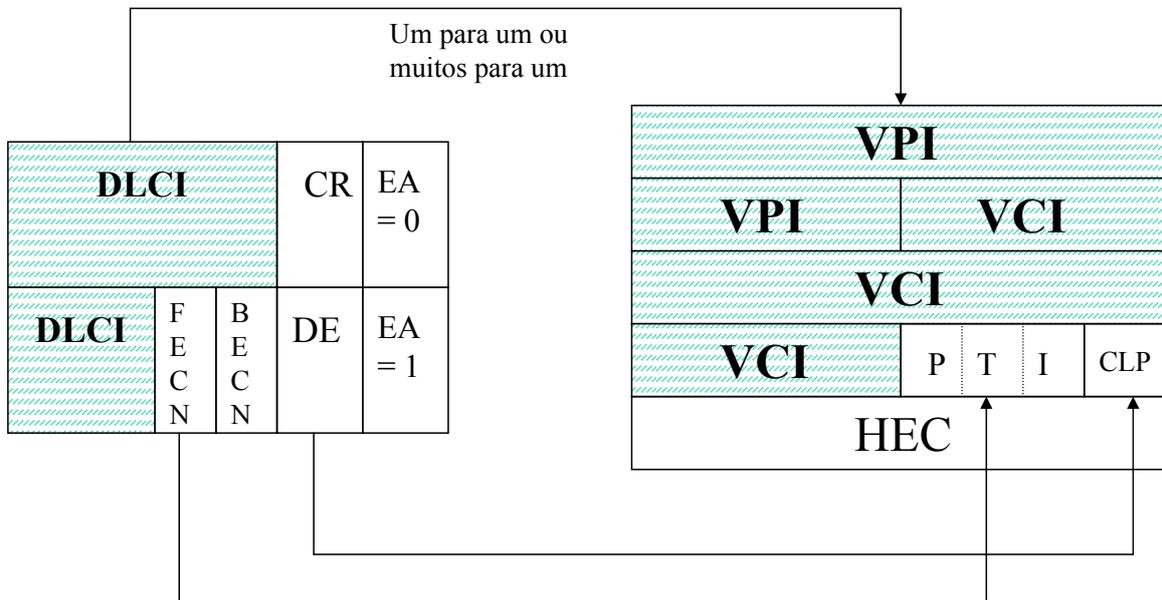
Transporte de quadros em células

- O quadro do Frame Relay é transportado nas células ATM, utilizando-se a AAL 5, a menos do flag e do CRC.
 - O controle de erros é feito através do CRC de 32 bits da camada AAL.
- O cabeçalho do Frame Relay pode variar de 2 a 4 bytes, dependendo do tamanho do campo DLCI. Para o cabeçalho da FR-SSCS, apenas o formato com 2 bytes é de implementação mandatória.

Transporte de quadros em células



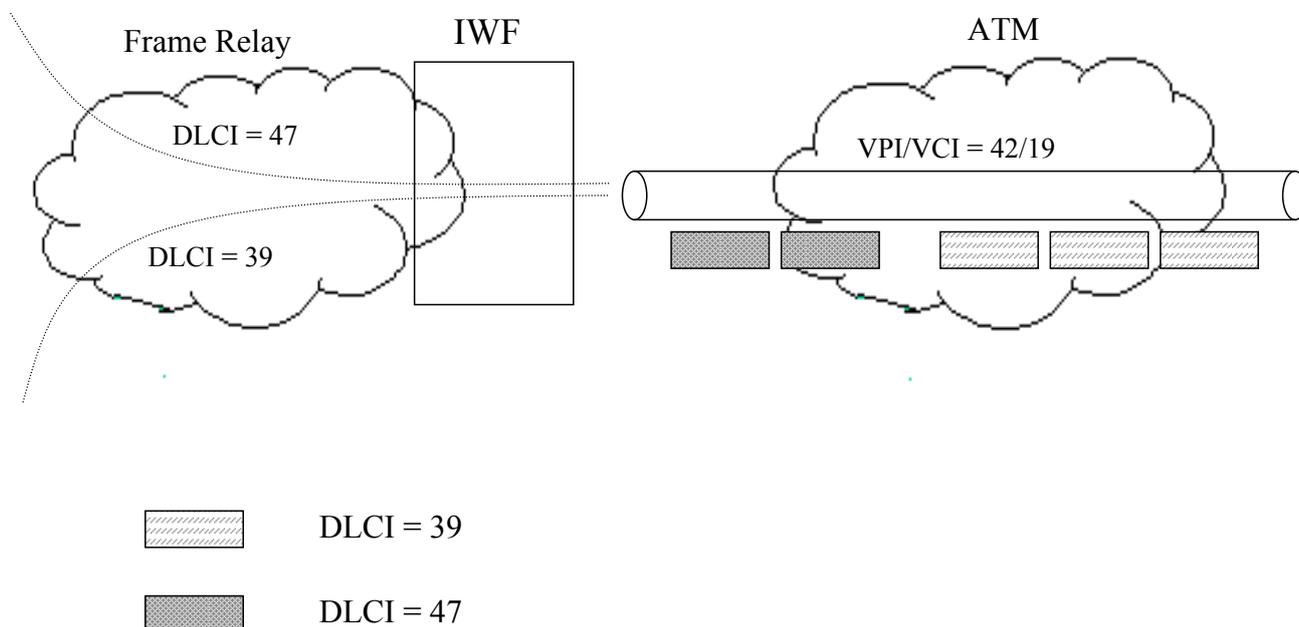
Interoperação entre cabeçalhos Identificação do circuito virtual



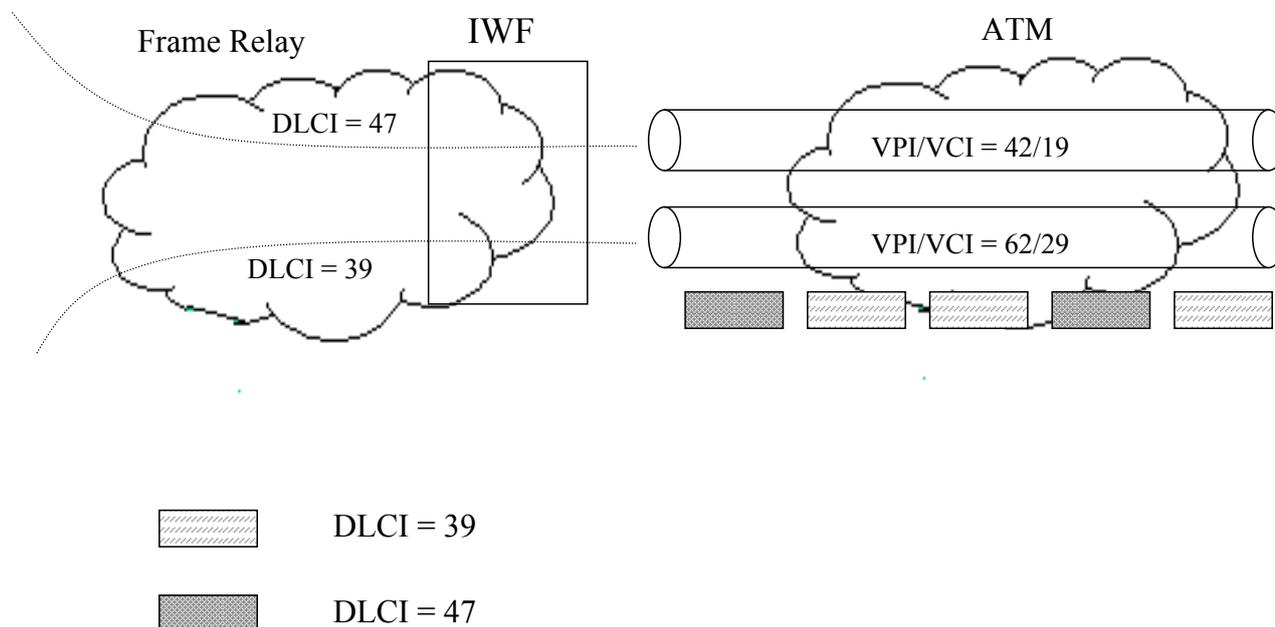
Mapeando DLCI em VPI/VCI

- Multiplexagem muitos para um
 - Várias conexões lógicas Frame Relay, identificadas através dos DLCIs, são mapeadas em um único VCC ATM, identificado pelo par VPI/VCI.
 - Implementação opcional
- Multiplexagem um-a-um
 - Cada conexão Frame Relay, identificada pelo DLCI, é mapeada em um VCC ATM, identificado pelo par VPI/VCI.

Mapeamento muitos para um



Mapeamento um para um

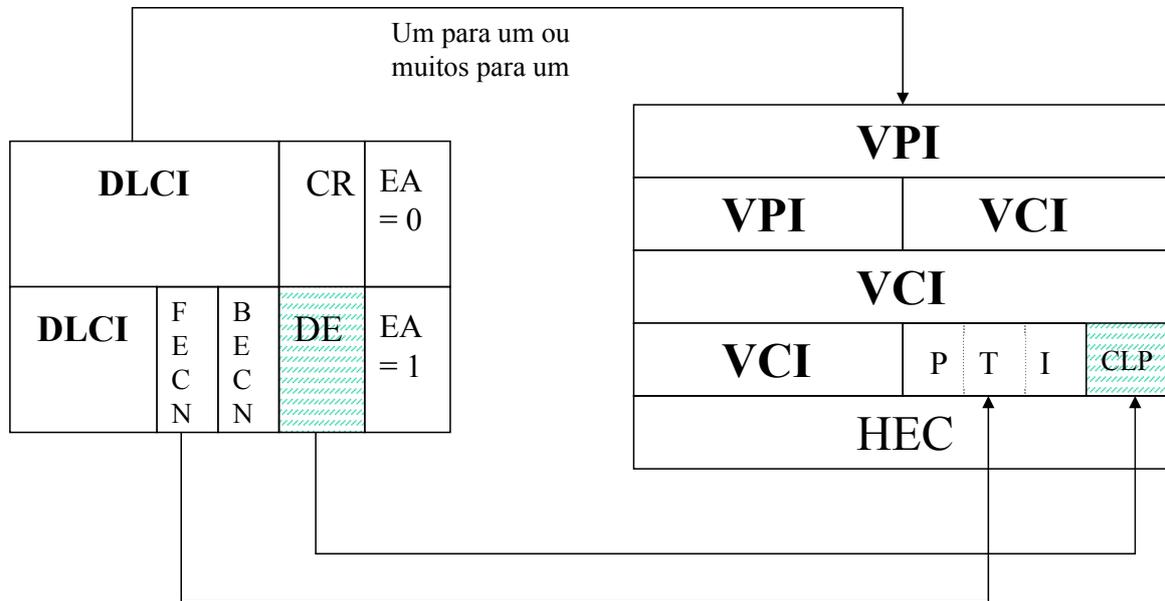


Interoperação entre cabeçalhos Prioridade de descarte

- O operador da rede pode optar entre mapear ou não a informação de prioridade de descarte do quadro Frame Relay para as células ATM.
- Quando a translação é implementada, o bit DE (Discard Eligible) do Frame Relay é mapeado diretamente para o bit CLP (Cell Loss Priority) da rede ATM, e vice-versa.

Interoperação entre cabeçalhos

Prioridade de descarte

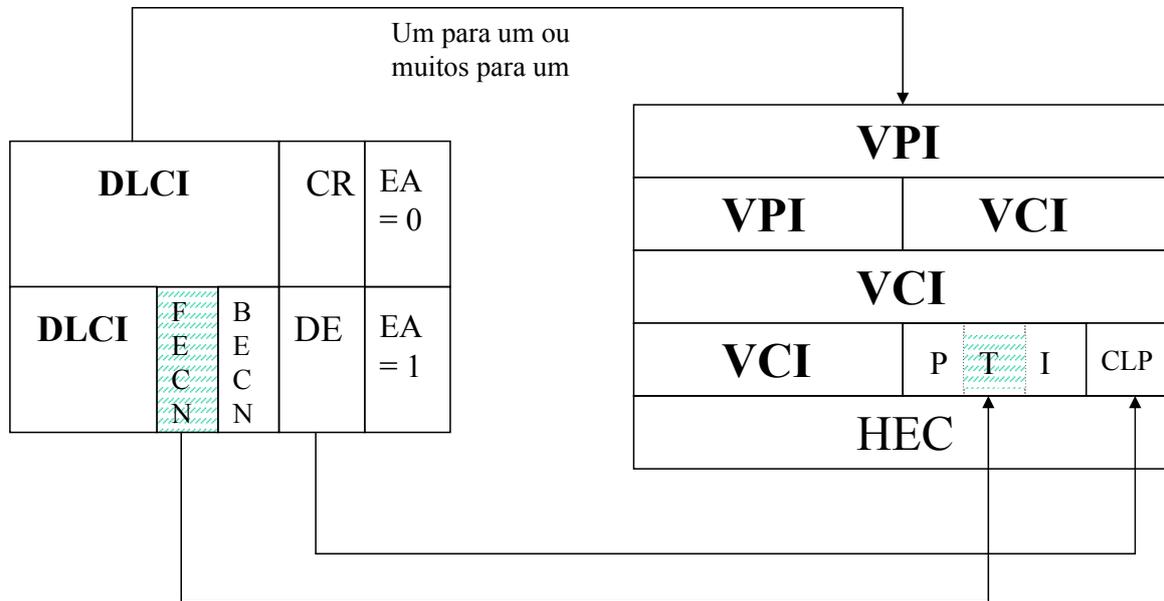


Interoperação entre cabeçalhos

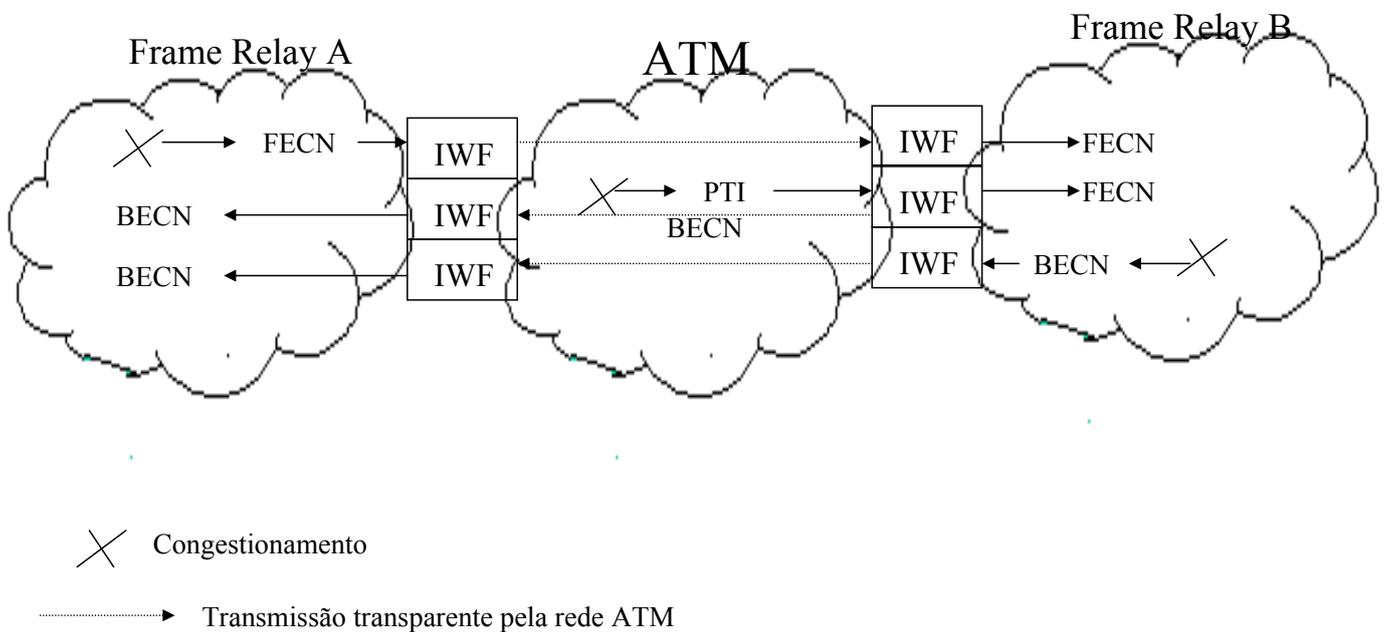
Congestionamento

- O Frame Relay prevê dois bits, FECN e BECN, para informar situações de congestionamento na rede.
- O ATM só prevê informação de congestionamento para frente, através de um bit do campo PT (Payload Type).
- A rede ATM não precisa saber se houve congestionamento na rede Frame Relay, uma vez que ela não pode reagir a este evento.
- Por outro lado, a rede Frame Relay deve saber sobre congestionamentos na rede ATM, para que ela possa indicar aos usuários finais para reduzir o tráfego. Além disto, uma rede Frame Relay deve saber sobre congestionamento em outra rede Frame Relay.

Interoperação entre cabeçalhos Congestionamento



Interoperação entre cabeçalhos Congestionamento



Interoperação entre cabeçalhos Congestionamento

151

- Se um congestionamento ocorre na rede FR-A (upstream), o bit FECN é setado para levar esta informação à downstream (rede FR-B).
- O cabeçalho Frame Relay (incluindo o FECN) atravessa a rede ATM de forma transparente, no cabeçalho da FR-SSCS no topo da AAL 5.
- Portanto, não há necessidade de converter esta informação para o cabeçalho ATM.

Interoperação entre cabeçalhos Congestionamento

152

- Se um congestionamento ocorre na rede ATM, as células que passaram por ele terão o bit EFCI do PTI setado.
- Se a última célula que compõe um quadro Frame Relay chegar ao IWF com a indicação de congestionamento setada, o IWF irá setar o bit EFCN do quadro, para informar ao destino.
- Além disto, o IWF irá setar o bit BECN em um quadro que estiver sendo transmitido à upstream (na direção da rede A), para informar o terminal de origem.

Interoperação entre cabeçalhos

Congestionamento

153

- Se um congestionamento ocorre na rede FR-B, o bit BECN é setado para informar a origem. Este bit é transportado de forma transparente pela rede ATM (no cabeçalho do FR-SSCS).
- Em resumo, caso uma situação de congestionamento ocorra, em qualquer parte do circuito virtual entre origem e destino (na rede FR ou ATM), os terminais de origem e destino serão notificados deste fato.

Gerenciamento de tráfego

154

- Quando uma conexão Frame Relay é estabelecida através de um backbone ATM, os parâmetros de tráfego devem ser convertidos.
- A taxa de acesso do Frame Relay (taxa da interface física) é convertida para o PCR (Peak Cell Rate) do ATM, enquanto o CIR (Committed Information Rate) do Frame Relay é convertido para o SCR (Sustainable Cell Rate) do ATM.

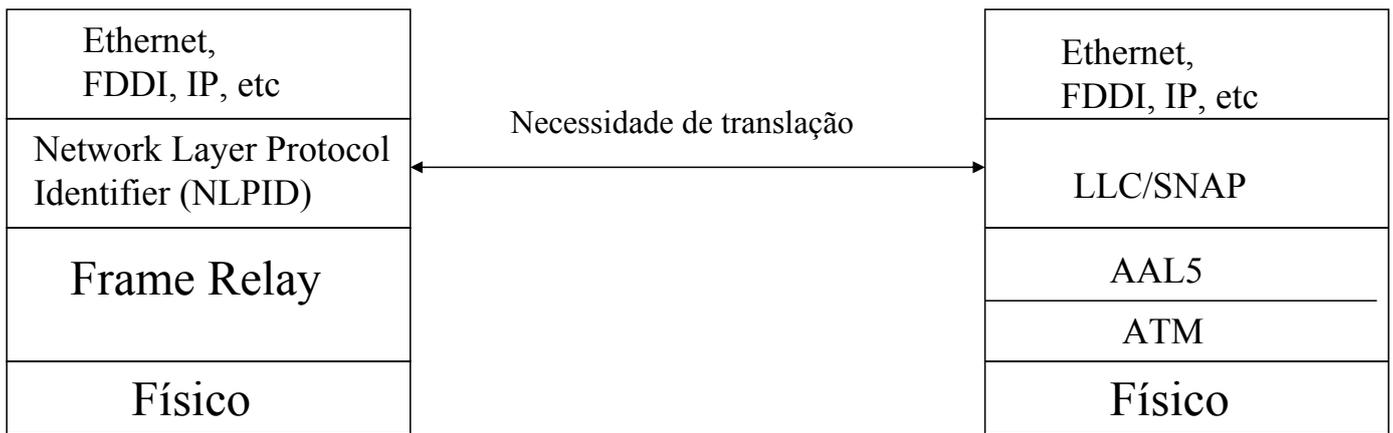
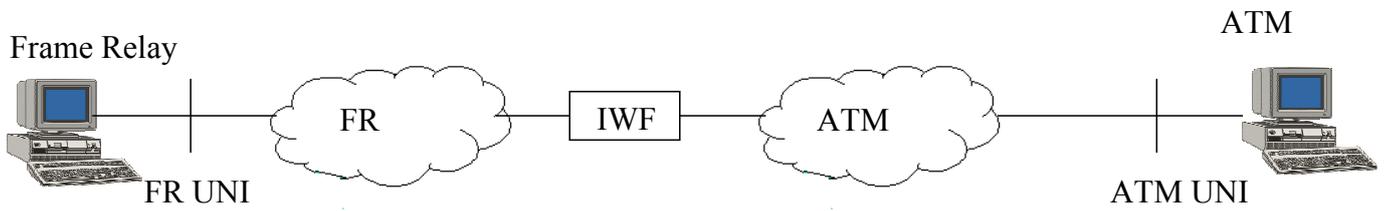
Gerenciamento de PVC

- O IWF recebe indicações da rede FR e as mapeia para as indicações correspondentes da rede ATM, e vice-versa.

Encapsulamento de protocolos das camadas superiores

- Modo Transparente
 - Nenhuma conversão é feita.
 - Aplica-se quando há compatibilidade entre os terminais (ex.: transmissão de voz em pacotes)
- Modo Translação
 - Os métodos de encapsulamento de múltiplos protocolos do FR (RFC 1490) e do ATM (RFC 2684) são incompatíveis, e o IWF deve prover a conversão (ex.: conexão de duas LANs)

Translação do método de encapsulamento



Lista de Exercícios