

# Tutorial: Redes ATM

## *I Workshop do Rio de Janeiro em Redes de Alta Velocidade*

Carlil Gibran Fonseca de Macedo  
gibran@cbpf.br

Nilton C. N. da Costa Braga  
ncb@cbpf.br

Nilton Alves Jr.  
naj@cbpf.br  
<http://mesonpi.cat.cbpf.br/naj>

### Resumo

Este trabalho relaciona os principais aspectos da tecnologia ATM adotada principalmente para ligações entre redes. Serão abordados os tipos de fibra óptica e seus conectores, os conceitos gerais de uma conexão virtual ATM, o modelo de camadas ATM, os protocolos utilizados nas principais interfaces de rede, os conceitos e sistemas que permitem a utilização de IP sobre ATM e por fim, uma visão rápida do conceito de qualidade de serviço.

### Palavras Chaves

Tecnologia ATM; Redes de Alta Performance; Fibra Óptica.



## Índice

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>1. FIBRA ÓPTICA</b>	<b>4</b>
1.1. A FIBRA E SUAS VANTAGENS.	4
1.2. COMO FUNCIONA A FIBRA.	5
1.2.1. Multimodo índice degrau	6
1.2.2. Multimodo índice gradual	7
1.2.3. Monomodo índice degrau	7
1.3. CONECTORES PARA FIBRAS ÓPTICAS.	7
<b>2. CONCEITOS GERAIS ATM</b>	<b>8</b>
2.1. CÉLULA	8
2.2. ENDEREÇAMENTO	10
2.3. CIRCUITOS VIRTUAIS	11
<b>3. CAMADAS ATM</b>	<b>12</b>
3.1. CAMADA FÍSICA	13
3.2. CAMADA ATM	14
3.3. CAMADA DE ADAPTAÇÃO ATM	15
<b>4. PROTOCOLOS DE INTERFACES DE REDE</b>	<b>16</b>
4.1. PROTOCOLOS ENTRE DISPOSITIVOS E SWITCHES	16
4.2. PROTOCOLOS ENTRE SWITCHES	17
<b>5. SINALIZAÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>6. IP SOBRE ATM</b>	<b>19</b>
6.1. CLASSICAL IP - CIP	20
6.2. LAN EMULATION - LANE	20
6.3. MULTI PROTOCOL OVER ATM - MPOA	21
<b>7. QUALIDADE DE SERVIÇO (QOS)</b>	<b>21</b>
7.1. ATRASO DE TRÂNSITO	21
7.2. VARIAÇÃO DO ATRASO	21
7.3. CLASSES DE SERVIÇOS	22
<b>8. O FUTURO DA TECNOLOGIA ATM</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>24</b>

## **Introdução**

A tecnologia *Asynchronous Transfer Mode* – ATM foi desenvolvida devido às tendências na área de redes. O parâmetro mais relevante é o grande número de serviços emergentes de comunicação com diferentes, algumas vezes desconhecidas, necessidades e características.

Nesta era da informação, usuários requisitam cada vez mais um número grande de serviços. Dentre estes serviços que são esperados no futuro podemos citar alguns deles: *High Definition TV* – HDTV, vídeo conferência, transferência de dados com alta performance, multimídia, videofonia, biblioteca de vídeos, educação a distância, vídeo sob demanda e telemedicina. Este largo espectro de serviços introduz a necessidade de uma rede universal com uma flexibilidade suficiente para suportar esta demanda.

Dois outros fatores que estão relacionados com o desenvolvimento da tecnologia ATM são a rápida evolução das tecnologias de semicondutores e componentes ópticos e a evolução das idéias de concepção de sistemas de comunicação que transfere para a borda da rede as funções complexas de transporte da informação, ex. definição de rotas.

Assim sendo, tanto a necessidade de flexibilidade nas redes de comunicações, como o progresso tecnológico e conceitual de sistemas, levaram ao desenvolvimento das bases da tecnologia ATM.

Com o passar dos anos, diante do surgimento de novas tecnologias de alta performance em redes (principalmente *Fast Ethernet* e *Gigabitethernet*) e o uso cada vez maior de aplicações baseadas em IP, a visão geral da tecnologia ATM passou por várias fases.

Nos últimos anos a opinião dos técnicos e engenheiros mudou sobre a tecnologia: de mais uma planificação para empresas de telefonia à inevitável utilização futura em todos os tipos de telecomunicações; de uma complexa tecnologia fadada a ser substituída pela *Gigabit Ethernet* à uma promissora perspectiva de ser parte importante na ligação entre redes locais (LAN).

A motivação para este estudo, está no fato da utilização da tecnologia ATM em dois projetos da Coordenação de Atividades Técnicas – CAT/CBPF que envolvem redes metropolitanas e Internet 2: RedeRio de Computadores - FAPERJ e Redes Metropolitanas de Alta Velocidade – REMAV/RNP.

## **1. Fibra Óptica**

Quando na década de 60, computadores situados a grandes distâncias começaram a ser interligados, os custos para a construção de uma nova rede de telecomunicações eram muito altos, e acabaram por inviabilizar a realização da mesma. Como alternativa, foram utilizadas as redes telefônicas já existentes. Com o tempo, porém, a demanda por serviços de telecomunicações cresceu, e as antigas redes já não ofereciam a qualidade desejada. Para garantir a transmissão de todo tipo de sinal, os cabos telefônicos foram gradativamente sendo substituídos pelos cabos de fibra óptica, que permitem uma transmissão mais confiável e numa distância maior.

### **1.1. A fibra e suas vantagens.**

O capilar de sílica, ou fibra óptica, possui vantagens que possibilitam o seu uso numa gama enorme de aplicações. Como principais características desse meio de transmissão, podemos ressaltar:

- ✓ pequenas dimensões;
- ✓ baixo peso;
- ✓ imunidade a interferências eletromagnéticas;
- ✓ elevada capacidade de transmissão;
- ✓ reduzida atenuação;
- ✓ segurança.

Basicamente, a fibra é um cabo composto de um núcleo ultrafino e uma casca, concêntricos, que se diferenciam pelos seus índices de refração. É bastante frágil mecanicamente, sendo dessa forma, menos resistente que outros meios de transmissão como cabos coaxiais ou de pares trançados. Em virtude da sua composição, a fibra também é bem menos maleável que os cabos acima mencionados, contudo, por esse mesmo motivo também é mais leve: a densidade do silício é aproximadamente 4 vezes menor que a do cobre.

A principal razão para a confiabilidade dos sistemas de fibras reside no fato de que elas não transportam sinais elétricos. Mesmo com proteção e um bom aterramento, os cabos de cobre se comportam como antenas e absorvem energia de motores, transmissores de rádio e outros dispositivos elétricos. Dessa forma, há o risco de ocorrerem diferenças de potencial em relação ao aterramento, podendo ser ocasionadas até mesmo fagulhas nos cabos. Essas interferências elétricas acabam por enfraquecer o sinal e distorcer os pacotes de dados. Os cabos de fibras de vidro são imunes a campos elétricos e magnéticos, sendo portanto imunes a problemas dessa natureza.

A maior capacidade de transmissão dos sistemas de comunicação ótica está relacionada à frequência do sinal. A luz tem uma frequência na faixa de  $10^{14}$  -  $10^{15}$  Hz, enquanto que sinais de rádio e microondas oscilam em frequências de  $10^6$  Hz e  $10^8$  -  $10^{10}$  Hz, respectivamente. Portanto, um sistema que trabalhe na frequência da luz pode transmitir numa taxa superior a outros sistemas que trabalhem em frequências como as de rádio ou microondas. Podemos definir taxa de transmissão como a quantidade de bits que podem ser transmitidos por segundo.

Um aspecto determinante dessa tecnologia é o alcance proporcionado pelas fibras. Sinais em cabos de cobre ou em fibra viajam praticamente a mesma velocidade, com a diferença de que a luz encontra menos resistência ao deslocamento durante o seu percurso. Nesse caso, diz-se que a atenuação é menor, e por esse motivo, sinais luminosos podem alcançar distâncias maiores sofrendo perdas menores.

As fibras garantem uma maior sigiliosidade e proteção contra "grampeamentos" do que redes que utilizem meios de transmissão convencionais, como por exemplo cabos coaxiais. Isso é decorrente do fato de que a luz que passa por uma fibra é precisamente ajustada, e a inserção de qualquer dispositivo não-autorizado na rede causará então uma falha total na mesma.

## 1.2. Como funciona a fibra.

Um sistema de transmissão ótica é constituído de três componentes: a fonte de luz, o meio de transmissão e o receptor/detector. A fonte de energia luminosa pode ser um laser ou um *Light Emitting Diode* - LED, ou seja, dispositivos que tenham a capacidade de emitir luz. O meio de transmissão é uma fibra ultrafina de vidro ou de sílica fundida, onde o feixe luminoso se propaga. O detector é um fotodiodo, que é capaz de gerar um pulso elétrico quando iluminado por um feixe de luz.

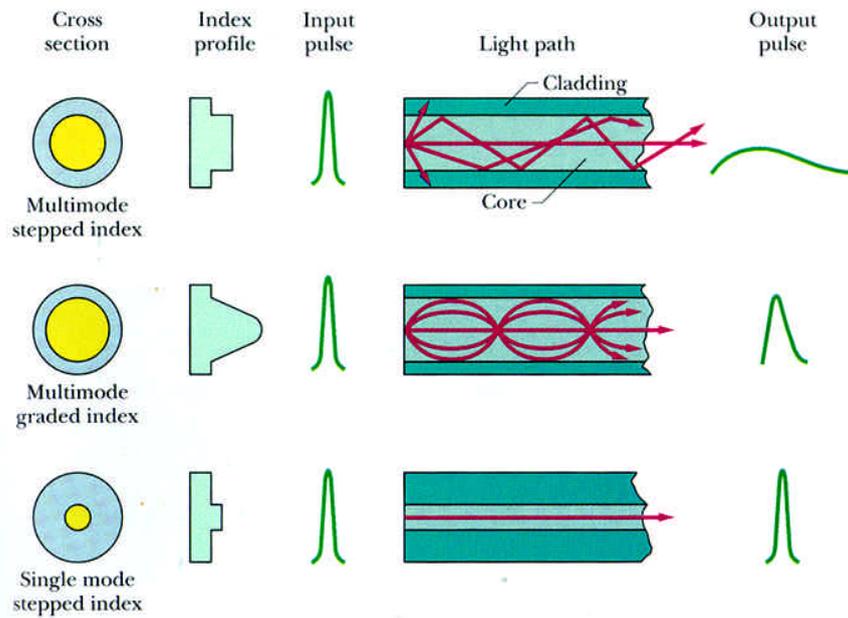
Nesse sistema, a informação que é transmitida pode ser um sinal de voz proveniente de um telefone, sinais de vídeo ou dados digitais de um computador.

Tanto os sinais de telefonia quanto os de vídeo são codificados numa sequência binária de zeros e uns, e são multiplexados para transmissão num único pacote de taxa de dados elevada. Se a taxa de dados do sistema for de 1Gb/s, podem ser multiplexados aproximadamente 15.000 canais de telefonia (que requerem 64Kb/s), por exemplo. Isso é obtido fazendo-se com que no transmissor, cada 1 corresponda a um pulso elétrico, e cada 0 corresponda à ausência dele. Esses pulsos são usados para ligar e desligar sucessivamente a fonte de luz. Temos então que no transmissor as informações são codificadas sob a forma de pulsos elétricos, que são convertidos em sucessivos flashes de luz, que por sua vez são reconvertidos em sinais elétricos no receptor. A partir dessas informações, podemos explicar mais detalhadamente como funciona a fibra.

O princípio básico que faz com esse meio de transmissão transporte a luz é o princípio ótico da Reflexão Interna Total. Quando um raio de luz muda de um meio para outro, uma parte dele é refratada, sempre com um ângulo diferente do ângulo de incidência. Lembrando da Física, o fenômeno da Reflexão Total ocorre quando o feixe de luz vai do material mais para o menos refringente. No caso da fibra, o índice de refração da sílica (“miolo”) é maior que da camada que o envolve (“casca”).

Observando o comportamento dos raios, vemos que para valores maiores do que um determinado ângulo crítico, a luz é totalmente refletida para o interior da sílica não escapando nada para a casca externa. Dessa forma, um raio que incide com um ângulo pelo menos igual, ou maior, ao ângulo crítico é aprisionado no interior da fibra.

Basicamente, existem três tipos de fibra ótica: multimodo índices gradual e degrau e monomodo índice degrau.



Extraído de “Fundamentals of Physics”, Halliday, Resnick e Walker.

### 1.2.1. Multimodo índice degrau

A fibra desse tipo possui um núcleo composto de um material de índice de refração constante e superior ao da sua casca. Aqui, a luz pode viajar por diversos caminhos diferentes.

Diversos raios (todos viajando a mesma velocidade) percorrem o núcleo da fibra, sendo que o raio que viaja no centro dela percorre uma distância menor do que os outros, que vão se chocando com as paredes internas do cabo ao longo do caminho.

Como resultado, o pulso estreito que fora inicialmente transmitido é consideravelmente alargado após viajar muitos quilômetros no interior da fibra, sendo esse o efeito que condiciona o espaçamento entre os pulsos na entrada, para que eles não se sobreponham na saída.

### 1.2.2. Multimodo índice gradual

Observando a figura anterior, podemos notar que esse tipo de fibra possui o seu núcleo com índice de refração variável, sendo ele crescente da periferia para o centro. Essa variação gradual do índice de refração permite que haja uma redução no alargamento do pulso ótico. Como no modelo acima, aqui a luz também percorre diversos caminhos diferentes, com a diferença de que nesse caso, eles são menos angulosos, uma vez que a luz é suavemente curvada ao longo da sua trajetória. Esse fato serve para diminuir ainda mais o alargamento do pulso ótico, uma vez que os raios passam a maior parte do tempo viajando por um caminho de índice de refração menor.

### 1.2.3. Monomodo índice degrau

Esse tipo de fibra possui um núcleo e uma blindagem de diâmetros reduzidos, além de a diferença entre seus índices de refração também ser bem pequena, possibilitando que a luz se propague em linha reta ao longo do cabo. Portanto, não há raios que percorram caminhos diferentes ao longo da trajetória. Esse fato acaba por eliminar completamente o alargamento do feixe, uma vez que os raios luminosos não chegam defasados entre si.

Basicamente, há dois fatores que influenciam na distância máxima que uma fibra pode transmitir informação: o alargamento do pulso (*broadening*) e a atenuação.

Quanto maior for o alargamento do pulso transmitido, maior é a chance dos dados chegarem corrompidos ao seu destino, uma vez que o pulso recebido tende a possuir uma similaridade menor com o pulso inicialmente enviado.

A atenuação está relacionada com a potência luminosa que é transmitida e que é recebida. Ao longo do caminho, a luz sofre perdas devido ao espalhamento e absorção dos raios luminosos. A absorção corresponde a parcela de energia luminosa que é transferida para o capilar de sílica. O espalhamento é causado pela deflexão de raios luminosos em várias direções, assim, uma parte da luz enviada pelo LED ou laser é perdida para fora do núcleo, diminuindo a intensidade do sinal que é recebido.

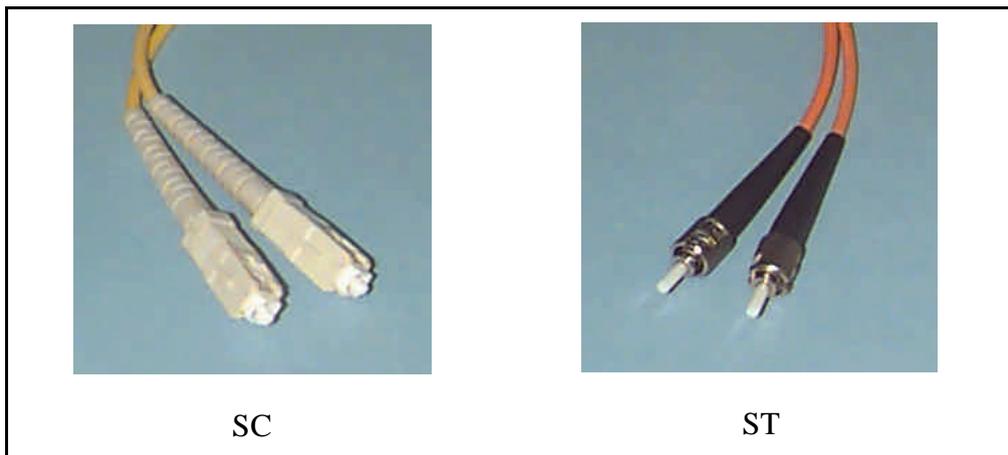
Dos três tipos de fibra apresentados, a que apresenta maior taxa de transmissão é a fibra monomodo. Isso ocorre em virtude de ela proporcionar o recebimento de um pulso com alargamento mínimo no receptor, além de também apresentar uma perda menor. Por esse motivo, essa fibra possui um alcance maior do que as outras duas. Valores médios de comprimento admissível são 2km e 20km para fibras multimodo e monomodo, respectivamente.

## 1.3. Conectores para fibras óticas.

O conector é um dispositivo mecânico utilizado para unir uma fibra a um *transmitter*, *receiver* ou até mesmo a outra fibra. Existem diversos tipos de conectores: ST, STII, FC, SC, FDDI, ESCON, e SMA. Entre eles, os mais comuns são o ST, FC e SC.

Os conectores também são responsáveis por perdas na energia luminosa, tanto no envio como na recepção dos sinais, e por esse motivo são contabilizados no cálculo da energia total perdida ao longo da transmissão.

Abaixo, são mostrados dois dos principais tipos de conectores, em particular, aqueles usados no CBPF.



## 2. Conceitos Gerais ATM

A tecnologia ATM introduz conceitos inteiramente novos e diferentes daqueles utilizados em redes de pacotes tipo Ethernet. Abordaremos os seguintes: i. Célula., ii. Endereçamento, iii. Circuitos Virtuais.

### 2.1. Célula

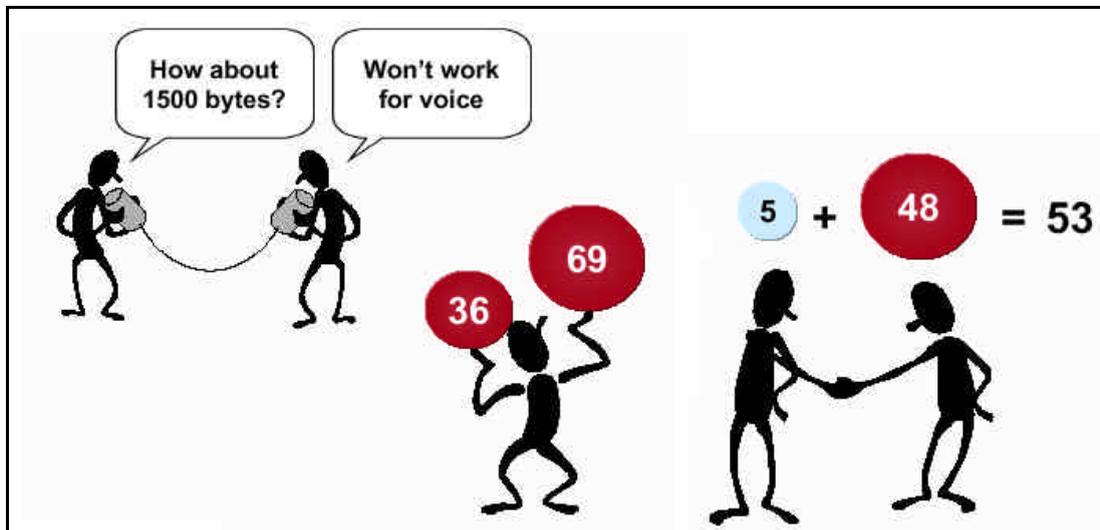
De acordo com o modelo de referência *Open Systems Interconnection* – OSI para interconexão de sistemas abertos de redes, na camada de rede (3) as Unidades de Informação - UI são chamadas “pacotes” (*packets*) e na camada de enlace (2) de “quadros” (*frames*). Como exemplos podemos citar quadros Ethernet, 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 parâmetros relevantes (abordaremos isto posteriormente ainda neste item) 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 problema, 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.

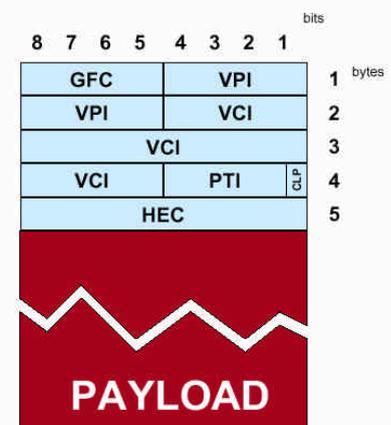


“Why 53 Bytes?”, Fore Systems, ATM Academy

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 maior facilidade de tratamento dado por hardwares baseados em chaveamento (*switches*), quando comparado à quadros de tamanhos variáveis. A desvantagem está na maior quantidade de cabeçalhos acarretando um enorme *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.

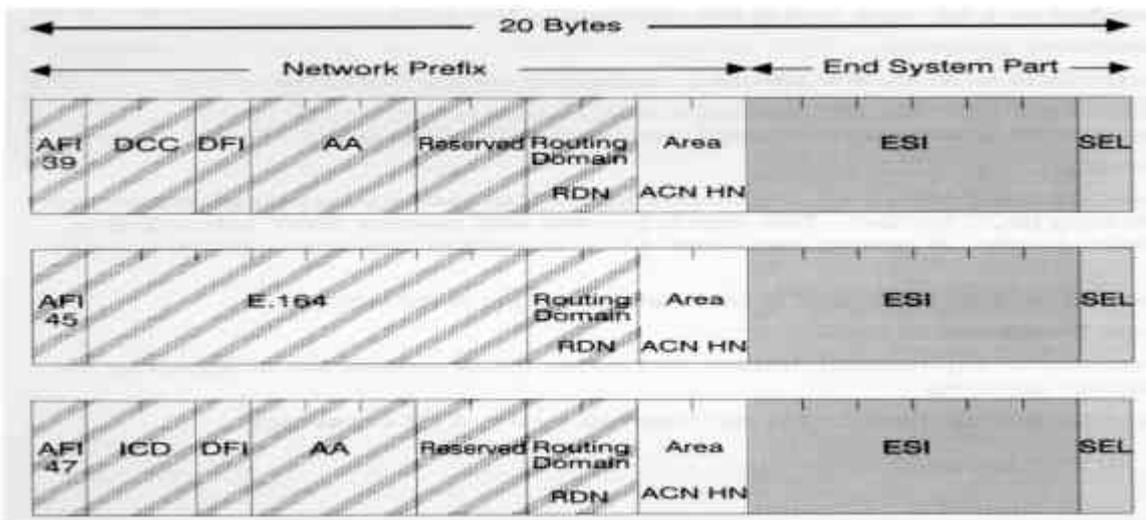
O diagrama ao lado identifica a estrutura da célula ATM para uma interface UNI que foi recentemente adotada pela interface PNNI (ambas interfaces serão abordadas posteriormente). A primeira parte, *Generic Flow Control*–GFC ainda sem uso, será provavelmente definida em termos de *Wireless ATM*. Originalmente este campo foi designado para controlar o tráfego, no sentido de limitar fluxo de dados durante períodos de congestionamento. No caso PNNI este campo não existe e os 4 bits são acrescentados ao campo VPI. Os próximos campos *Virtual Path Identifier*–VPI (8 bits) e *Virtual Channel Identifier*–VCI (16 bits) representam o endereço local de uma dada conexão, o que significa dizer que este endereço muda conforme a célula trafega na rede (próximo item abordará este assunto). No caso UNI/PNNI, ao todo são 24/28 bits o que nos leva a mais de 16/268 milhões de sessões, respectivamente. O próximo campo, *Payload Type Indicator*–



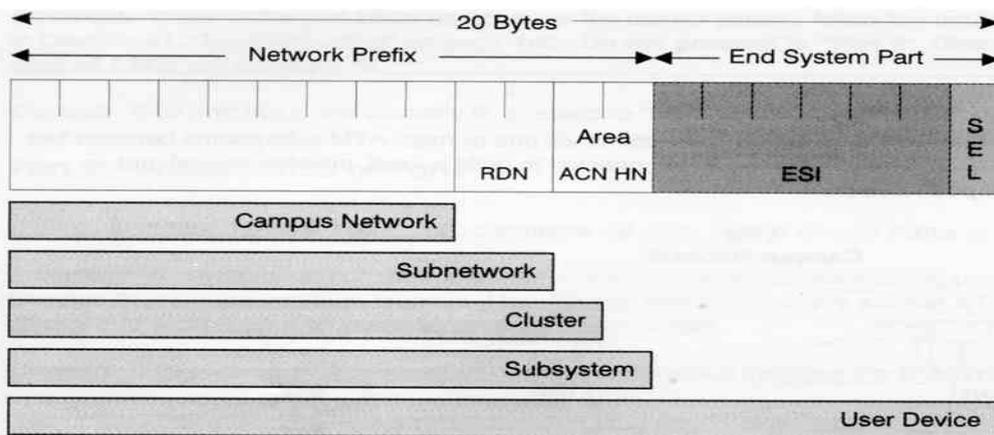
PTI possui 3 bits. O primeiro deles indica se a célula é de usuário (0) e portanto deve prosseguir seu caminho destino, ou se a célula é de controle (1) terminando seu movimento no *switch*. O segundo bit chamado *Congestion Indicator* – CI é utilizado em um mecanismo de controle EFCI. O terceiro e último bit é utilizado em esquemas de controle de congestionamento tal como *Packet Level Discard* – PLD utilizado em sistemas de Qualidade de Serviço assim como o próximo bit *Cell Loss Priority* – CLP. O último campo do cabeçalho, *Header Error Check* – HEC, é um mecanismo padrão de verificação de erro. Os 48 bytes restantes, *payload*, carregam a informação e são completamente livres de formatação.

## 2.2. Endereçamento

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). Existem 3 formatos de endereçamento ATM: i. DCC (*Data Country code*); ii. E.164 (*Specific Integrated Service Digital Network Number*); iii. ICD (*International Code Designator*); cujo primeiro byte é 39, 45 e 47, respectivamente.



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. Abaixo apresentamos um esquema destes 20 bytes relativo ao terceiro formato, ICD, que é utilizado na configuração dos equipamentos dos projetos REMAV.



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 trafegará na conexão e não mais será utilizado o endereço de 20 bytes.

Como exemplo podemos citar o caso da nuvem ATM do REMAV/RJ que está sobreposta à nuvem ATM da RedeRio: os *switches* do REMAV/RJ estão ligados aos da RedeRio, que por sua vez estão ligados entre si de forma fechada, formando assim o anel ATM. No caso da UFRJ, existe o *switch* da RedeRio ligado em série a dois outros idênticos no laboratório e por fim, ligado ao 8265 e este ao 8285, que são os *switches* da IBM do projeto REMAV. No caso do CBPF e PUC existe o *switch* da RedeRio e ligados a eles os *switches* REMAV. Os endereços ATM estão na tabela abaixo. Na tabela abaixo, observe a diferença nos bytes, em negrito, que definem a subrede (bytes 10 e 11) e o *cluster* (bytes 12 e 13):

47.00000000003C0000. <b>A000</b> .*	UFRJ REDERIO 7000
47.00000000003C0000. <b>A100.0000</b> .*	RAVEL 7000
47.00000000003C0000. <b>A110.0000</b> .*	RAVEL 7000
47.00000000003C0000. <b>A111.0000</b> .510082650100.00	REMAV 8265
47.00000000003C0000. <b>A111.0001</b> .510082850100.00	REMAV 8285
47.00000000003C0000. <b>B000</b> .*	CBPF REDERIO 7000
47.00000000003C0000. <b>B100.0000</b> .510082650200.00	REMAV 8265
47.00000000003C0000. <b>B100.0001</b> .510082850200.00	REMAV 8285
47.00000000003C0000. <b>C000</b> .*	PUC REDERIO 7000
47.00000000003C0000. <b>C100.0000</b> .510082650300.00	REMAV 8265
47.00000000003C0000. <b>C100.0001</b> .510082850300.00	REMAV 8285
47.00000000003C0000. <b>D</b> *	FIOCRUZ REDERIO 7000
47.00000000003C0000. <b>E</b> *	TELEMAR REDERIO 7000

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.

## 2.3. 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 VC s para fluxo de dados otimizam a utilização de *buffers*.
- ✓ VCs simplificam o processo de construção de *switches* rápidos. VCs são criados para conexão entre *switches* 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 VC s podem ser definidos dinamicamente, *Switched Virtual Circuits* – SVCs, ou definidos pelo administrador de rede e conectados todo o tempo, *Permanent Virtual Circuits* – PVCs.

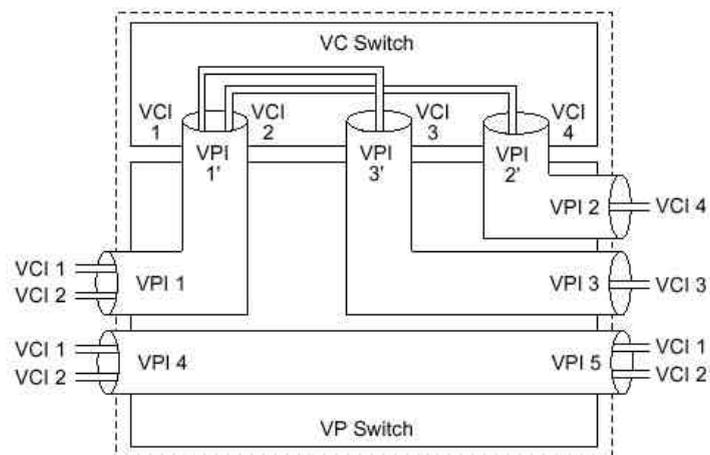
Uma rede ATM é fundamentalmente orientada a conexão. Isto significa que uma conexão virtual necessariamente deve ser estabelecida através da rede ATM antes de qualquer transferência de dados. A tecnologia ATM oferece dois tipos de conexão de transporte que se completam: *Virtual Path* – VP e *Virtual 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. Sendo assim, para cada VP existem vários VCs.

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.

Como visto anteriormente, 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 *switch*. 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.

Na figura ao lado, a parte inferior mostra o chaveamento 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.

Sendo didático, podemos fazer um paralelo entre o fluxo de informação em uma rede ATM e o fluxo de veículos entre cidades. Considere a célula sendo um veículo, as estradas seriam os VPs e as pistas, diferenciadas pela velocidade, os VCs. Para um carro ir da cidade A para C, pode ir direto, através de VP1 na pista VC5 que garante alta velocidade. Um ônibus poderá usar a mesma estrada, VP1, porém uma pista mais lenta, VC3, por exemplo. Pode haver a possibilidade de passar pela cidade B. Neste caso teria que usar uma outra estrada, VP2, e uma pista VC3, agora rápida, se for um carro ou VC5, agora lenta, se for um ônibus. Repare que o mesmo VCI foi usado para representar pista lenta e rápida, porém em estradas, VPs, diferentes. Da cidade B até C, outra estrada, VP, seria usada e assim outras pistas, VCs, poderiam ser utilizadas ou não.



### 3. Camadas ATM

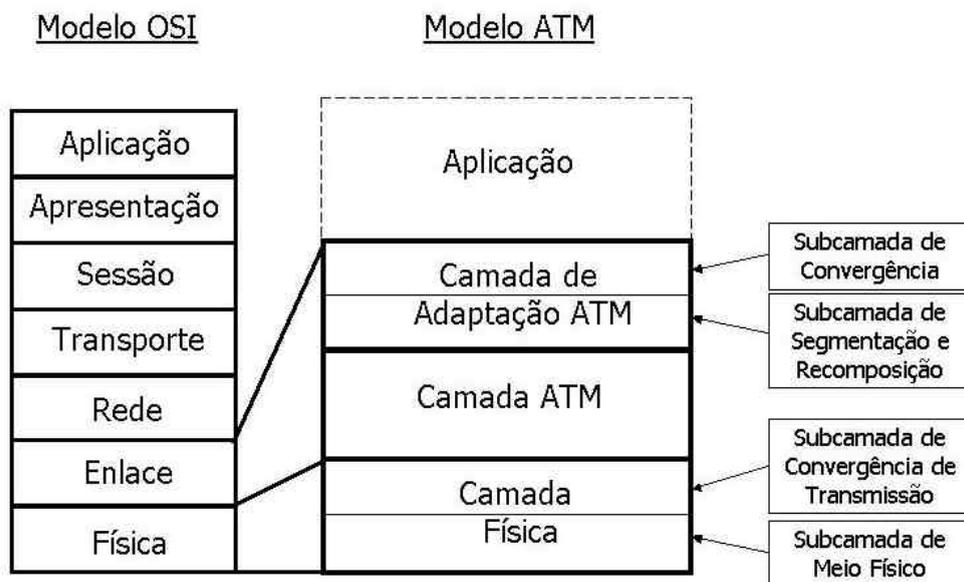
O modelo *Open Systems Interconnection* – OSI é muito usado para modelar a maioria dos sistemas de comunicação. A tecnologia ATM também é modelada com a mesma arquitetura hierárquica, entretanto somente as camadas mais baixas são utilizadas. Assim como no modelo OSI/ISO, a tecnologia ATM também é estruturada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

A primeira delas é a Camada Física que consiste no transporte físico usado para transferência de células de um nó para outro. Esta camada é muito flexível no sentido de que pode trabalhar com várias categorias de transporte físico.

A próxima é a Camada ATM que viabiliza o chaveamento e roteamento das células ATM de acordo com os campos VCI e VPI do cabeçalho, descritos anteriormente.

A última é a Camada de Adaptação ATM. Esta camada cuida dos diferentes tipos de tráfego. Existem diferentes tipo de Camada de Adaptação para diferentes tipos de tráfego devido às diferentes características de transmissão de um tráfego específico.

Na figura abaixo está relacionadas as camadas do modelo OSI e ATM, assim como as subcamadas do modelo ATM:



Especificamente nesse caso, 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 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. Existem ainda outras formas de "inserção" das camadas ATM, por exemplo, quando são substituídas as duas camadas mais baixas.

Abordaremos a seguir, cada uma das três camadas ATM: Camada Física, Camada ATM e Camada de Adaptação ATM. De acordo com a figura acima, as Camadas Física e de Adaptação Atm se dividem em duas outras, cada uma.

### 3.1. Camada Física

A camada física do modelo ATM é subdividida em outras duas camadas: *Physical Medium Sublayer* – PMS e *Transmission Convergence Sublayer* – TCS. Na primeira são definidas as características elétricas, mecânicas e óticas do meio físico utilizado, bem como questões de sincronismo para transmissão/recepção de bits. A segunda 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.

### 3.2. Camada ATM

A Camada ATM é a camada responsável pelas células ATM. Como visto anteriormente, 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 transmitido 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 *switch* 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.

### 3.3. 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, Camada ATM, 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 (vide figura anterior) que abordaremos a seguir.

A Camada de Adaptação ATM consiste de duas subcamadas: Subcamada de Convergência – SC e Subcamada de Segmentação e Adição – SSA. A primeira das subcamadas, SC, recebe os dados das várias aplicações e transforma em pacotes de tamanhos variáveis chamados de *Convergence Sublayer Protocol Data Units* – CS-PDUS. A outra subcamada, 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. 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.

	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Tempo de Transmissão	Requerido	Requerido	Não requerido	Não requerido
<i>Bit Rate</i>	Constante	Variável	Variável	Variável
Modo de Conexão	Orientada à Conexão	Orientada à Conexão	Orientada à Conexão	Sem conexão
Tipo AAL	AAL1	AAL2	AAL3	AAL4
			AAL5	

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.

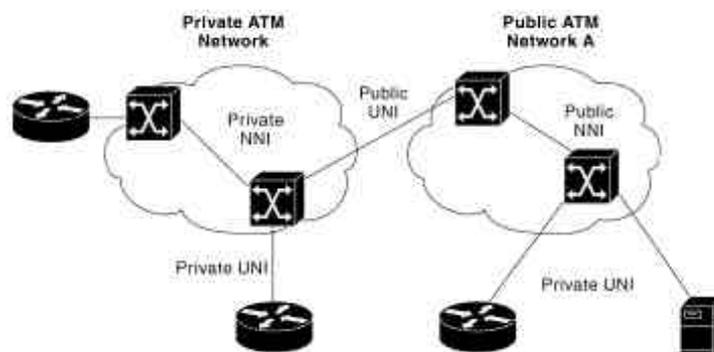
- ✓ Classe C – Serviço de Dados Orientados a Conexão: Transferência de dados orientada a conexão e geralmente aplicações de rede onde a conexão é estabelecida antes da transferência de dados. Originalmente foi recomendado pela *International Telecommunications Union* – ITU dois tipos de protocolos para 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.

## 4. Protocolos de Interfaces de Rede

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 *switches* ATM interconectados por ligações ATM ponto a ponto. Estes *switches* 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 *switch* ATM. A interface NNI conecta dois *switches* ATM.

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



Abordaremos os protocolos das interfaces UNI e PNNI com um pouco mais de detalhes, a seguir.

### 4.1. Protocolos Entre Dispositivos e *Switches*

*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, que falaremos mais tarde, padrão ITU Q.2931. A

interface UNI depende fortemente da estrutura de circuitos virtuais ATM implementada através de VCIs e VPIs.

A sinalização que ocorre entre dois dispositivos usa os circuitos virtuais que são estabelecidos para isto. Como visto anteriormente, os endereços ATM são utilizados somente na fase de estabelecimento da conexão. No caso dos projetos RedeRio e REMAV utilizamos o endereçamento ICD (20bytes) embora os outros dois tipos de endereçamento (DCC e E.164) também de 20 bytes sejam usados em outros sistemas diferentes destes.

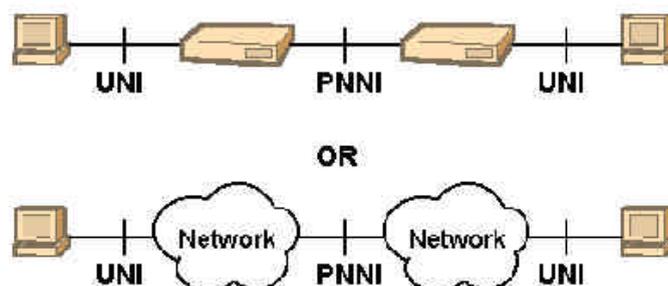
O protocolo UNI utiliza vários tipos de parâmetros AAL (abordado no seção 3.3). Por exemplo, AAL1 é tipicamente usado para transmissão de voz e AAL5 para dados. O dispositivo de ponta e a rede usam estes parâmetros para validar a habilidade da rede de suportar o nível QoS requerido pela aplicação.

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*.

## 4.2. Protocolos Entre Switches

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

Na figura abaixo, 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 *switches* e a sigla ser a mesma, a função operacional não é a mesma.



O primeiro grupo de desenvolvimento deste protocolo (ATM Forum) se formou em julho de 1993, o desenvolvimento teve início em setembro do mesmo ano, a versão 1.0 foi divulgada em abril de 1996 e até meados de 1999 PNNI 2.0 ainda não tinha sido finalizada.

## 5. Sinalização

As conexões em uma rede ATM, como visto anteriormente, são de dois tipos: PVC e SVC. No primeiro caso, PVC, os valores VPI/VCI nos *switches* que participam da conexão devem ser manualmente configurados pelo administrador. Apesar de ser um trabalho tedioso, ele só precisa

ser feito uma única vez, pois uma vez estabelecida a conexão, ela fica permanente. A conexão do tipo PVC é uma boa escolha para conexões que estão sempre em uso ou são frequentemente de alta demanda.

O outro tipo de conexão, SVC, é uma solução para as requisições de conexões sob-demanda. A conexão SVC é estabelecida quando necessária e liberada quando a informação toda chegar ao seu destino. Para apresentar esta característica dinâmica, a conexão SVC utiliza o procedimento de sinalização.

Existe ainda um terceiro tipo de conexão, *soft* PVC e *soft* PVP. Estas conexões são híbridas no sentido de que são permanentes porém usam o procedimento de sinalização. Este tipo de conexão pode estabelecer PVCs e PVPs facilmente se alguma falha acontecer em algum *switch* que faça parte da conexão.

O ATM é uma tecnologia orientada a conexão. Sendo assim, é necessário que haja procedimentos de controle que independam da efetiva transferência de dados. Estes procedimentos são organizados em várias fases, que constituem o processo de sinalização.

A fase de estabelecimento da conexão, também chamada de fase de *setup*, antecede a transferência de dados. Sua função básica é de estabelecer um “contrato” entre o usuário e a rede. Ambos acertam, neste “contrato”, as características do tráfego da conexão. A execução deste “contrato”, uma característica fundamental do ATM, ocorre no âmbito de dois conjuntos de parâmetros. O primeiro, chamado de parâmetro de tráfego, especifica grandezas como taxa máxima de bits, taxa sustentada (média) de bits, tolerância a rajadas e fontes geradoras de fluxo de dados (vídeo, voz e etc). O segundo parâmetro, particulariza ainda mais o fluxo de dados com a intenção de atribuir um *Quality of Service* – QoS à conexão.

O estabelecimento destas informações garantem ao usuário, de um lado, que a rede fornecerá um tipo de serviço conhecido e previsível, com o qual o usuário poderá contar. De outro lado, permite à rede avaliar, na fase de *setup*, se o serviço requerido poderá ser suportado sem prejuízo dos parâmetros QoS das conexões já existentes. Esta possibilidade é verificada através da execução de uma função de controle chamada CAC (Controle de Admissão da Conexão). Caso em uma conexão hipotética existam *n* *switches*, todos estes *switches* devem aceitar os parâmetros atribuídos na fase de *setup* para que a conexão seja estabelecida.

Outra função importante, derivada dos dados fornecidos durante a fase de *setup*, é o policiamento do usuário, realizada durante a transferência de dados, para verificar se este permanece dentro dos limites estabelecidos pelo QoS.

Em seguida à fase de *setup*, vem a segunda fase da conexão, que corresponde a transferência de dados propriamente dita. E por fim, finalizando o processo, teremos uma fase de encerramento da conexão para a liberação dos recursos que estava alocados para conexão em questão.

Sinalização, é a designação genérica para as funções que controlam dinamicamente conexões ATM. Estas funções são implementadas por um protocolo, chamado protocolo de sinalização. Como este protocolo é distinto daqueles utilizados na transferência de dados e, geralmente, executado em fases diferentes, designa-se o protocolo de sinalização como um protocolo “fora de banda”, pois ele não compartilha da mesma faixa de passagem ocupada pelos dados de uma conexão.

A intenção manifestada neste esquema é transferir boa parte da complexidade envolvida na implementação de uma conexão para o protocolo de sinalização. Com isso, o protocolo de transferência de dados pode ser mantido mais simples, rápido e eficiente possível.

Com o início da comercialização da tecnologia ATM, vários protocolos para sinalização foram desenvolvidos, um para cada fabricante. Estes protocolos não eram interoperacionais. Para resolver este problema, ou seja, para haver uma padronização de protocolos de sinalização, o ATM Forum incluiu na especificação UNI 3.1 a definição de um protocolo de sinalização, este chamado de protocolo de sinalização fase 1.

As principais capacidades incluídas nesta versão do protocolo de sinalização são:

- ✓ Estabelecimento, sob demanda, de conexões comutadas;
- ✓ Estabelecimento de conexões ponto-a-ponto e ponto-multiponto;
- ✓ Estabelecimento de conexões com requisitos simétricos ou assimétricos de faixa de passagem;
- ✓ Funcionamento baseado nos parâmetros da conexão;
- ✓ Suporte das classes de serviço: X, A e C;
- ✓ Atribuição de identificadores VPI e VCI à conexão;
- ✓ Determinação de canal fixo para a troca de mensagens de sinalização. Este canal é identificado como VPI= 0 e VCI= 5.
- ✓ Recuperação de erros;
- ✓ Mecanismo de registro para a troca de informações de endereços através do protocolo UNI.

Algumas observações merecem ser examinadas. O protocolo de sinalização é válido enquanto o canal estiver sendo utilizado, no entanto, a negociação só é efetuada na fase que antecede a efetiva transferência dos dados. Sendo assim, depois que uma conexão tem seus fatores determinados, não é possível uma reconfiguração destes fatores. Outra observação esta relacionada as conexões do tipo ponto-multiponto. Estas conexões são unidirecionais, ou seja, o fluxo de dados tem origem em um determinado *host* (raiz) e segue em direção aos seus receptores (folhas). Uma folha não pode utilizar o canal de uma conexão ponto-multiponto para remeter dados para uma outra folha que também faça parte desta árvore de difusão. A inclusão de novas folhas só pode ser realizada pela raiz, e a retirada de uma folha só pode ser efetuada pela raiz ou pela requisição da própria folha em questão.

## **6. IP Sobre ATM**

O *Internet Engineering Task Force* - IETF definiu IP como sendo a “cola” para interconectar redes heterogêneas em uma única e grande rede. Redes diferentes implementam diferentes camadas física, de enlace e de rede. Se a camada IP atua sobre várias camadas de rede, então as redes podem se interconectadas. Operações com IP foram definidas em várias tecnologias de rede, incluindo tecnologias de *broadcast* (LAN), como Ethernet, tecnologias WAN baseadas em chaveamento de circuitos, como X.25, e em chaveamento de pacotes, como *Switched Multi-megabit Data Service* – SMDS.

No começo dos anos 90, a tecnologia ATM passou por uma fase de desenvolvimento muito intensa o que levou ao IETF a definir as operações de IP sobre ATM. O Forum ATM também iniciou seus trabalhos de definição de operações de diferentes protocolos de camada 2 e 3 sobre ATM. Abordaremos estes trabalhos a seguir .

## 6.1. Classical IP - CIP

O ambiente CIP foi desenvolvido para permitir que usuários IP pudessem migrar para o uso de ATM como uma tecnologia de transporte, mantendo a utilização de aplicações herdadas de sistemas IP. *Classical IP*, definido na RFC1577, é uma tecnologia que permite roteamento (camada 3) de datagramas IP sobre redes ATM.

Redes ATM são divididas em *Logiacl IP Subnets* – LIS que se comunicam entre si através de roteadores. Como não existe a capacidade nativa de *broadcast* em ATM, o tradicional protocolo *Address Resolution Protocol* – ARP é substituído pelo protocolo ATMARP baseado na técnica cliente/servidor. Assim sendo, a estação do usuário deve se registrar em um servidor ARP e assim fazer parte de uma *Virtual LAN* - VLAN, que neste caso se chama LIS.

## 6.2. LAN Emulation - LANE

O serviço *Lan Emulation*, definido pelo ATM Forum, é um serviço para redes ATM, que emula os serviços existentes em redes Ethernet/802.3 e Token Ring/802.5. O uso de LANE permite que aplicações de LAN possam se comunicar sobre redes ATM como se estivessem em redes tradicionais com estações que usam interfaces baseadas no endereço MAC. Dentre os possíveis serviços, podemos citar a transferência de dados *multicast*. O serviço LANE atua na camada MAC e pode ser usada com qualquer protocolo de camada 3, enquanto que o serviço CIP sobre ATM somente atua com o protocolo IP.

Um sistema *Emulated LAN* – ELAN consiste de um grupo de clientes LANE que residem nas extremidades de uma rede ATM e um único serviço LANE. Este serviço possui vários componentes que cuidam , por exemplo, da resolução de endereços, configuração e *broadcast*. Estas componentes normalmente residem nos *switches* ATM e podem ser centralizados ou distribuídos.

Uma ELAN é similar a um segmento de LAN e pode comunicar com outros segmentos através de uma *bridge* ou roteador. Para o transporte do controle do sistema LANE e pacotes de dados sobre ATM, é usado um encapsulamento LANE de 2 bytes. A especificação LANE 2.0, também permite encapsulamento LLC/SNAP. Os pacotes LANE são mapeados diretamente em células ATM, usando AAL5 e são transportadas em SVCs.

O sistema LANE basicamente é composto por quatro principais componentes:

- ✓ *LAN Emulation Server* – LES: sua principal função é dar suporte ao *LAN Emulation Address Resolution Protocol* – LE-ARP necessário para que o cliente fonte determine o endereço ATM do cliente alvo responsável por um certo endereço MAC. Normalmente localizado em um *Switch* ATM.
- ✓ *LAN Emulation Clients* – LEC: normalmente localizados em estações ATM (*ATM End Systems*).
- ✓ *Broadcast Unknow Server* – BUS: sua tarefa é encaminhar todo tráfego *multicast* para os clientes conectados.

- ✓ *LAN Emulation Configuration Server* – LECS: utilizado para maior facilidade de configuração dos diversos LES que eventualmente existem em uma rede ATM, dentre outras funções.

### 6.3. Multi Protocol Over ATM - MPOA

O forum ATM definiu o *Multiprotocol Over ATM* – MPOA para superar o principal problema dos sistemas LANE e CIP: estes protocolos requerem que *hosts* em diferentes subredes (ELAN e LIS, respectivamente) comuniquem-se através de um roteador, que significativamente diminuem o fluxo de dados aumentando o tempo de latência, pois cada roteador necessita reordenar as células em pacotes da camada 3 para rotear e posteriormente segmentá-los em células para enviá-los adiante.

Podemos dizer que LANE e CIP são eficientes dentro de subredes, mas não entre elas. Quando as células passam por um roteador, o tempo de latência, devido à reordenação em pacotes e posterior segmentação em células, aumenta consideravelmente para garantir certos níveis de QoS.

O sistema MPOA permite que clientes em diferentes subredes estabeleçam VCCs entre si (chamados de *shortcuts*) através de um servidor de rotas e encaminhem pacotes diretamente na camada 3, sem nenhuma reordenação/segmentação intermediária. Dentro da subrede, MPOA usa LANE. Este servidor de rotas pode ser um dispositivo dedicado ou um *switch* ATM. Sua comunicação com os roteadores tradicionais é feita através dos protocolos padrão RIP e OSPF.

Protocolos de camadas superiores se comunicam com o software MPOA diretamente, de tal forma que grandes tamanhos de pacotes e sinalização QoS podem ser implementadas.

## 7. Qualidade de Serviço (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.

### 7.1. 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 *switch*. Hardwares baseados em chaveamentos minimizam o segundo atraso.

### 7.2. 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, laboratórios, etc, que não são viáveis com a tecnologia Ethernet.

### 7.3. 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.

## 8. O Futuro da Tecnologia ATM

Algumas predições a respeito:

- ✓ Existe uma tendência em afirmar que o futuro das redes estará em Fast/Gigabit Ethernet para LANs e ATM para MAN e WAN. Redes locais usarão a tecnologia Ethernet e aplicações IP e estarão conectadas a um *backbone* ATM particular ou público.
- ✓ Os preços de equipamentos ATM começarão a ser mais competitivos, incluindo interfaces para *desktop* do tipo OC-3 e OC-12, de custo elevado atualmente.
- ✓ ATM continuará se expandindo no segmento de conexão entre redes.
- ✓ Plataformas baseadas em chaveamento irão integrar ATM *switching* e LAN *switching*. Isto permitirá que protocolos, ex. PNNI, sejam usados mais intensivamente na interconexão de redes.
- ✓ As funções ATM *switching*, LAN *switching* e *Voice switching* serão disponibilizadas em um único sistema multimídia integrado de rede substituindo os tradicionais sistemas independentes.

- 
- ✓ MPOA irá gradualmente substituir os protocolos LANE e CIP. Eventualmente novos protocolos de “camada 3” e “camada 4” otimizados para redes chaveadas de alta performance serão desenvolvidos.

## Referências

Este trabalho por se tratar de um Tutorial, envolveu a leitura de vários documentos, livros, páginas Web e outras Notas Técnicas do CBPF. Como cada documentação contribuiu para o desenvolvimento de um ou mais tópicos e para compreensão geral do tema, as referências da lista abaixo não são citadas ao longo do texto: muitas são óbvias de localizar, outras foram mais abrangentes e de extrema relevância de uma maneira específica e geral.

Muitas das referências abaixo são relativas a páginas Web. Infelizmente ainda não há uma normatização relativa à documentos na Internet. Sendo assim, optamos neste caso, por citarmos o título, autor, data e endereço, nesta ordem, quando possível. É importante resaltar que devido ao dinamismo da Web, algumas destas referências podem ser alteradas ou mesmo terminadas.

1. “Roteadores e Segurança”, L. Carneiro e N. Alves, CBPF-NT004/99.
2. “Redes de Computadores”, L. Carneiro e N. Alves, CBPF-NT003/98.
3. “Glossary of Fiber Optics Terms”, <http://www.molex.com/product/fiber/glossary.html>.
4. “Fundamentals of Physics - Extended”; D. Halliday, R. Resnick e J. Walker; John Wiley & Sons; 1993.
5. “Sistemas Ópticos”, Apostila da Pirelli.
6. “ATM Tutorial and Guide”, RAD Data Communications, <http://www.bizbiz.com/rad/atmis.htm#tc>
7. “SDH/SONET”, The Parallel Computer Centre of The Queen's University of Belfast, [http://www.pcc.qub.ac.uk/tec/courses/network/SDH-SONET/sdh-sonetV1.1a\\_1.html](http://www.pcc.qub.ac.uk/tec/courses/network/SDH-SONET/sdh-sonetV1.1a_1.html)
8. “Projeto de Redes Locais de Computadores”, L.J.P. Moreira e M.S. Miranda, CEFET/RJ.
9. “The Glue of Networks: Looking at IP Over ATM”, R. Gupta, ATM Forum - 53 Bytes Newsletter, 7/1, February 1999.
10. “Asynchronous Transfer Mode (ATM)”, [http://www.ee.mtu.edu/courses/ee465/groupi/atm\\_index.html](http://www.ee.mtu.edu/courses/ee465/groupi/atm_index.html).
11. “ATM Asynchronous Transfer Mode”, <http://ganges.cs.tcd.ie/4ba2/atm/index.html>.
12. “A Brief Overview of ATM: Protocol Layers, LAN Emulation and Traffic Management”, K. Y. Siu and R. Jain, Computer Communications Review, vol. 25, nº2, pp6-28, april 1995, [ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/papers/atm\\_tut/index.html](ftp://ftp.netlab.ohio-state.edu/pub/jain/papers/atm_tut/index.html).
13. “The Big ATM Picture ATM Glossary”, <http://www.novell.com/nwc/feb.97/atm27/gloss27.html>.
14. “Asynchronous Transfer Mode (ATM) Switching”, [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/atm.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/atm.htm).

15. “An Asynchronous Transfer Mode (ATM) Tutorial”,  
<http://www-lt.fer.uni-lj.si/~peth/ATM/Siemens/tute.html>.
16. “ATM Tutorial”, <http://www.rad.co.il/networks/1994/atm/tutorial.htm>.
17. “ATM – Technology Overview”, Cisco Systems,  
<http://rasi.lr.ttu.ee/~araja/sidealused/ATM~1.htm>.
18. “IBM ATM Workgroup Solutions: Implementing The 8285 ATM Switch”, IBM Networking and Systems Management Redbooks Collection, SG244817.pdf, August 1998.
19. “ATM - Webopedia”, <http://webopedia.internet.com/TERM/A/ATM.htm>.
20. “ATM Technology Fundamentals”,  
[http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/atm/c8540/wa5/12\\_0/12\\_3/net\\_tech/basics.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/atm/c8540/wa5/12_0/12_3/net_tech/basics.htm).
21. “ATM Signaling and Addressing”,  
[http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/atm/c8540/wa5/12\\_0/12\\_3/net\\_tech/sig\\_addr.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/atm/c8540/wa5/12_0/12_3/net_tech/sig_addr.htm).
22. “The 53-Byte Cell”, G. Bennett, ATM Academy – Fore Systems, 9/apr/1998.
23. “Addressing In Local Area Networks”, G. Bennett, ATM Academy – Fore systems, 5/jun/1998.
24. “Building an ATM Network”, G. Bennett, ATM Academy – Fore Systems, 9/apr/1998.
25. “PNNI Feature Edition – Part 1: Routing and Addressing”, G. Bennett, ATM Academy – Fore, 29/sep/1998.
26. “ATM – Open for Business”, <http://www.3com.com/nsc/500374b.html>.
27. “ATM Forum PNNI – An Overview”, M. Held, Fore Systems, 19/may/1998  
<http://www.ncne.org/news/workshop/vbns-techs2/Talks/mheld/sld001.htm>.
28. “Regional Tutorials and Training”, National Laboratory for Applied Network Research (NLANR), <http://ncne/nlanr.net/>.
29. "An Overview of LANE, MPOA, PNNI", 03/99,  
<http://www.nortelnetworks.com/products/02/papers/3415.html>.