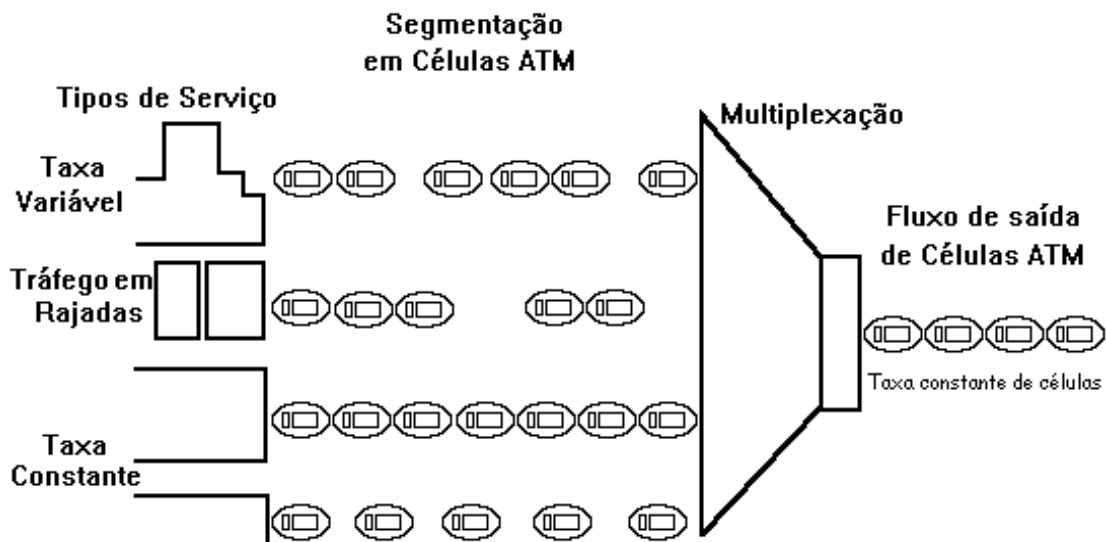


1. ATM - Introdução

O ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) é uma tecnologia de rede em nível de **enlace e físico**¹ do modelo OSI (*Open Systems Interconnection*), baseada na transmissão de pequenas unidades de informação de tamanho fixo e formato padronizado denominadas *células*. Foi desenvolvida para ser uma única rede de transporte para diversos serviços, tanto para redes locais como de longa distância. Assim, as redes de telefonia, televisão a cabo e comunicação de dados, hoje implementadas separadamente, poderiam ser unificadas através do ATM.

Para unificar os diversos tipos de serviços, ele exige uma camada de adaptação (AAL - *ATM Adaptation Layer*), que se localiza na parte superior do nível de enlace e efetua a adaptação dos diversos tipos de tráfego que os serviços necessitam. A figura a seguir ilustra o que foi dito acima.



Serviços de multimídia com voz e imagem suportam pequenas perdas nos dados, uma vez que a perda de poucas células são imperceptíveis à audição e à visão humana, mas não suportam atrasos. Inversamente, fluxos de dados de informações podem suportar pequenos atrasos, mas de maneira alguma podem conviver com perda nos dados.

As células são transmitidas através de conexões de circuitos virtuais, sendo seu encaminhamento baseado em informações do cabeçalho contido em cada uma delas, como será visto adiante.

Na hora da conexão, são estabelecidos diversos parâmetros de conexão, como por exemplo a taxa máxima de células (em horas de pico), se é uma conexão com taxa de transmissão variável ou fixa, etc. Também é negociado um parâmetro de Qualidade de Serviço (QoS), que determina o máximo de perda de células possível, o atraso máximo de transmissão, e assim por diante.

¹ Alguns autores colocam essa tecnologia também no nível de rede do modelo OSI, já que é responsável pelo roteamento de células entre os switches, da fonte ao destino.

Essa tecnologia é utilizada tanto para formar um *backbone* de alta velocidade, como para suprir necessidades de redes locais de grande fluxo, ou seja, para ganho de desempenho no tráfego dos dados na rede. As velocidades de transmissão vão desde 25 ou 155 Mbps para redes locais, permitindo que se aproveite toda a estrutura já existente, como cabeamento e repetidores, chegando até 622 Mbps, mas já exigindo que se utilize a fibra ótica para o meio de transmissão.

1.1 ATM versus STM

A principal diferença entre a transmissão síncrona (STM) e assíncrona (ATM) diz respeito à ocupação da banda. Observe a figura a seguir:

		A
	B	B
C		C

STM (Synchronous Transfer Mode)
(Multiplexação Síncrona)

C B A C B A C B A

X - pacote não preenchido

		A
	B	B
C		C
	D D	D

ATM (Asynchronous Transfer Mode)
(Multiplexação Estatística)

C D B D C D B A

X - pacote não preenchido

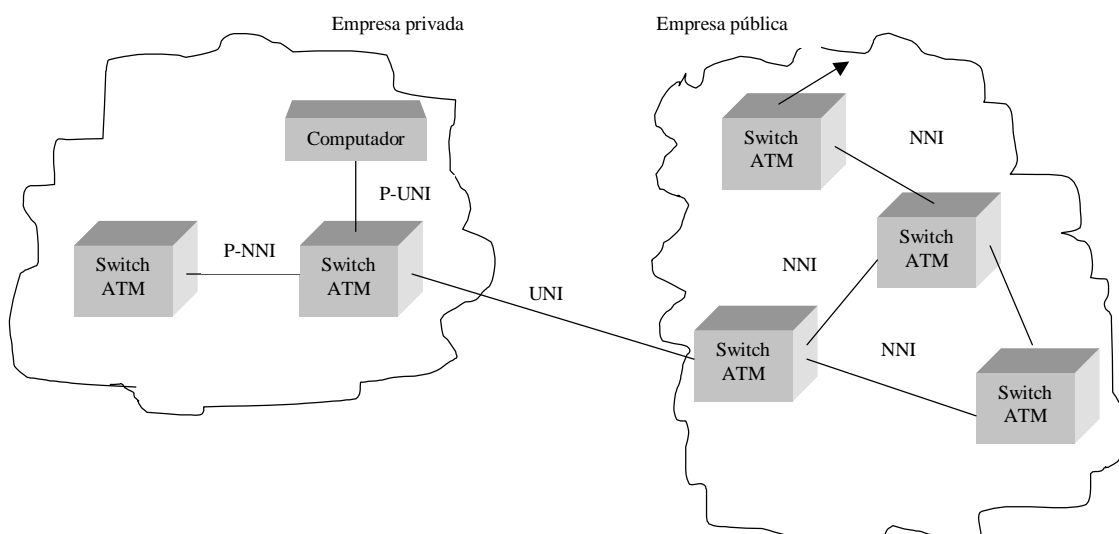
No caso da multiplexação síncrona do STM, vê-se que ocorre uma má utilização da banda, pois mesmo que não tenha informações a serem transmitidas, o espaço no meio de transmissão é reservado, eliminando a possibilidade de outra estação utilizar o meio. Esse tipo de situação é bastante comum hoje em dia nas transmissões via concessionárias de comunicação, pois praticamente todo o sistema brasileiro é baseado em STM, com as tecnologias PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) e SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*).

Já no caso da multiplexação estatística do ATM, vê-se uma melhor utilização da banda, pois a estação só transmite quando tem necessidade, ou seja, utiliza o meio físico sob demanda.

Adiante será falado com mais detalhes, mas vale ressaltar que o ATM utiliza uma camada inferior síncrona (PDH, SDH, Células). Assim, ele consegue uma melhor utilização do meio físico com os mesmos recursos utilizados atualmente, somente baseando-se numa melhor forma de multiplexação (estatística). **Isso quer dizer que o fluxo de células embaixo do ATM é constante, sendo elas utilizadas ou não.**

1.2 Interfaces no ATM

A figura a seguir mostra os tipos de interfaces utilizados no ATM, ou seja, quais as padronizações atuais de interfaces de comunicação.



1.3 Modelo de Referência do RDSI Faixa Larga

A figura a seguir representa as camadas e os planos para o modelo de referência dos protocolos da RDSI-FL, definido pela recomendação I.321 do ITU-T.

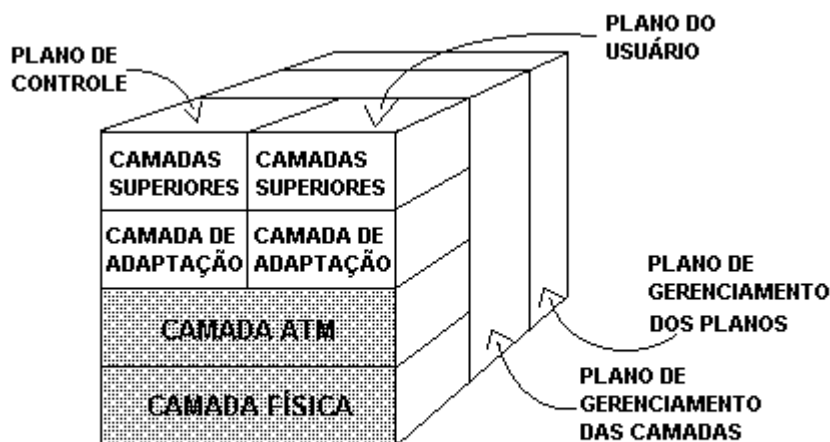


Figura 3.1: Modelo de Referência para protocolos B-ISDN

- **Plano de usuário:** se responsabiliza pela transferência de informações dos usuários e dos controles dessas transferências;
- **Plano de controle:** se encarrega pelo controle de chamadas e controle de conexões, cuidando da sinalização referente ao estabelecimento, supervisão e liberação de chamadas e conexões;
- **Plano de gerenciamento dos planos:** utilizado para gerenciamento dos planos do usuário, controle e dele próprio;
- **Plano de gerenciamento das camadas:** trata dos fluxos de informações de operação e manutenção de cada camada.

A tabela a seguir apresenta as camadas, a sua estrutura e as suas funções, de acordo com o modelo de referência.

Tabela 1: Estrutura das camadas da B-ISDN no modelo de referência e suas funções.

Camada	Subcamada	Função
AAL	CS	Convergência
	SAR	Segmentação e Remontagem
ATM		Controle de Fluxo Genérico
		Geração e extração do cabeçalho da célula
		Tradução do VPI/VCI da célula
		Multiplexação e demultiplexação de células
PHY	TC	Desassociação das taxas de células
		Geração da seqüência do HEC e verificação do cabeçalho
		Delimitação das células (descobre início da célula pelo HEC)
		Adaptação do quadro de transmissão (SDH, PDH ou Células)
		Geração e recuperação de quadros de transmissão
	PM	Sincronização dos bits
		Transmissão pelo meio físico
		Conversão eletro-óptica

A camada física (PHY) diz respeito aos aspectos mais básicos da transmissão. Essa camada apresenta duas subcamadas que são: a subcamada de meio físico (*Physical Medium*), e a subcamada de convergência de transmissão (*Transmission Convergence*).

A camada ATM é independente do meio físico e suporta a transferência de células para todos os tipos de serviços.

A camada de adaptação (AAL) é composta de duas subcamadas lógicas: a subcamada de convergência (CS - *Convergence Sublayer*) e a subcamada de segmentação e remontagem (SAR - *Segmentation And Reassembly*). Essa camada fornece as funções para efetuar o transporte das informações de acordo com a classe do tráfego.

Essas camadas serão vistas com maiores detalhes adiante.

2. A Camada Física

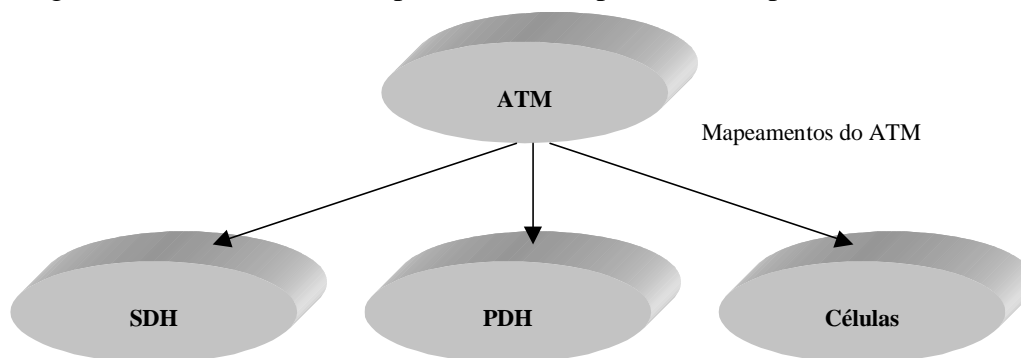
A camada física tem as seguintes funções:

- Adaptação ou mapeamento do quadro de transmissão;
- Desassociação das taxas de células;
- Geração e verificação do HEC;
- Delimitação de células;
- Transmissão pelo meio físico.

A seguir alguns desses itens serão analisados com detalhes.

2.1 Adaptação ou mapeamento do quadro de transmissão

Para que a transmissão seja efetuada, deve haver um mapeamento do formato de quadro (SDH, PDH, Células) para a taxa de transmissão do meio físico, visto no item anterior. Assim, pode-se dizer que, sobre a taxa de transmissão do meio físico (STM1, STM4, E1, E3, Cell Based e assim por diante), é necessário um formato de quadro para organizar a informação. A figura a seguir mostra as alternativas possíveis de mapeamento no protocolo ATM.



2.1.1 Taxas de transmissão no meio físico

A tabela a seguir mostra algumas taxas de transmissão padronizadas pelo ITU-T, e a tabela seguinte mostra algumas taxas padronizadas pelo ATM-Forum. Essas normas dizem respeito à taxa da linha, scrambler, número de volts, e assim por diante. A estrutura do quadro é analisada pelo mapeamento e será visto a seguir.

	Taxa (Mbps)	ITU-T
STM-1 e	155,52	G.703
STM-1 o	155,52	G.957
STM-4 o	622,08	G.957
E1	2,048	G.703
E3	34,368	G.703
E4	139,264	G.703
Cell Based e	155,52	G.703
Cell Based o	155,52	G.957
Cell Based o	622,08	G.957

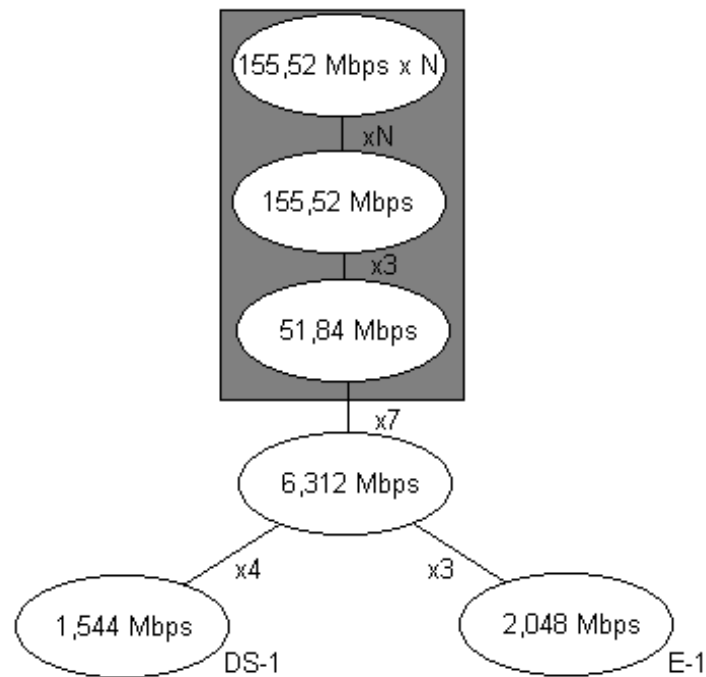
	Taxa (Mbps)	ATM-Forum
SONET STS-3	155,52	
DS3 / T3	44,5	
TAXI PHY	100	
Cell Based	155,52	
IBM TR PHY	25,6	
DS1 / T1 / E1	2,048	

Já o mapeamento diz respeito ao formato do quadro. A tabela a seguir mostra algumas normas destinadas a isso. No caso do mapeamento ATM sobre PDH, só tem a taxa em comum, pois a estrutura de quadro é completamente diferente da estrutura do PDH tradicional. Isso é um motivo que torna mais caros os equipamentos de ATM sobre PDH, pois eles devem ser feitos exclusivamente para esse fim. Já no caso do mapeamento SDH, a taxa de SDH 155 Mbps é compatível com o ATM, fazendo com que os equipamentos se tornem mais baratos.

Mapeamento	ITU-T
SDH	G.707
PDH (2M)	G.704
PDH (34M / 140M)	G.804+G.832
Cell Based	I.432

2.1.2 Mapeamento SDH

A figura a seguir mostra a padronização dos canais SDH. Os canais básicos são o DS-1 (padrão japonês e americano) ou E1 (europeu), porém, os níveis superiores dessa hierarquia são comuns, permitindo a compatibilidade com o PDH.

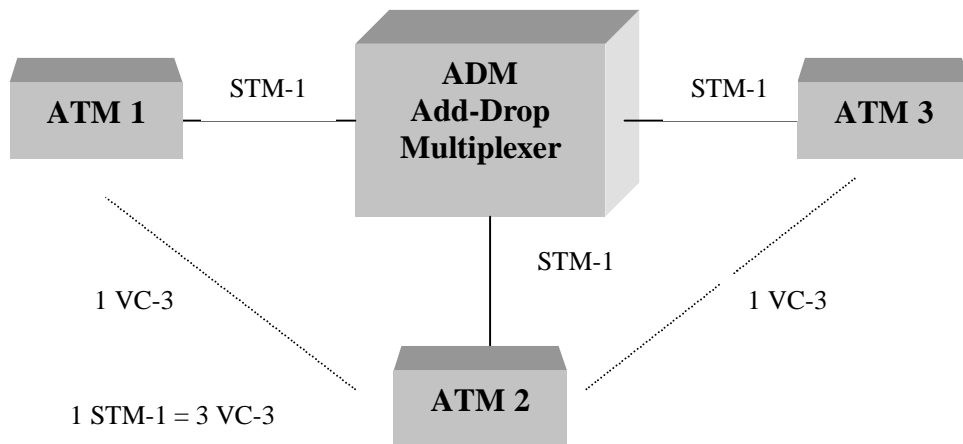


A informação é transmitida no SDH através de containers virtuais, que são montados (podendo ter diferentes tamanhos até completar a taxa de transmissão) e desmontados em cada ponto de derivação a fim de que sejam analisados e reencaminhados, caso haja necessidade. A tabela a seguir mostra alguns exemplos de estruturas de containers virtuais do SDH.

Estrutura	Taxa de bit (Mbps)
VC-12 (lê-se vc um dois)	2,176
VC-2	6,784
VC-2-mc	m x 6,784
VC-3	48,384
VC-4 (mais comum)	149,76
VC-4-Xc	X x 149,76

A figura a seguir mostra um exemplo de mapeamento ATM sobre SDH. Observe que os sinais STM-1 vistos na figura são diferentes, pois cada um deles é desmontado e remontado novamente. Assim, do ATM1 para o ADM, existem 3 VC-3 num sinal STM-1. Esse sinal é desmontado no ADM, derivado para o ATM2 e remontado para transmissão ao ATM3.

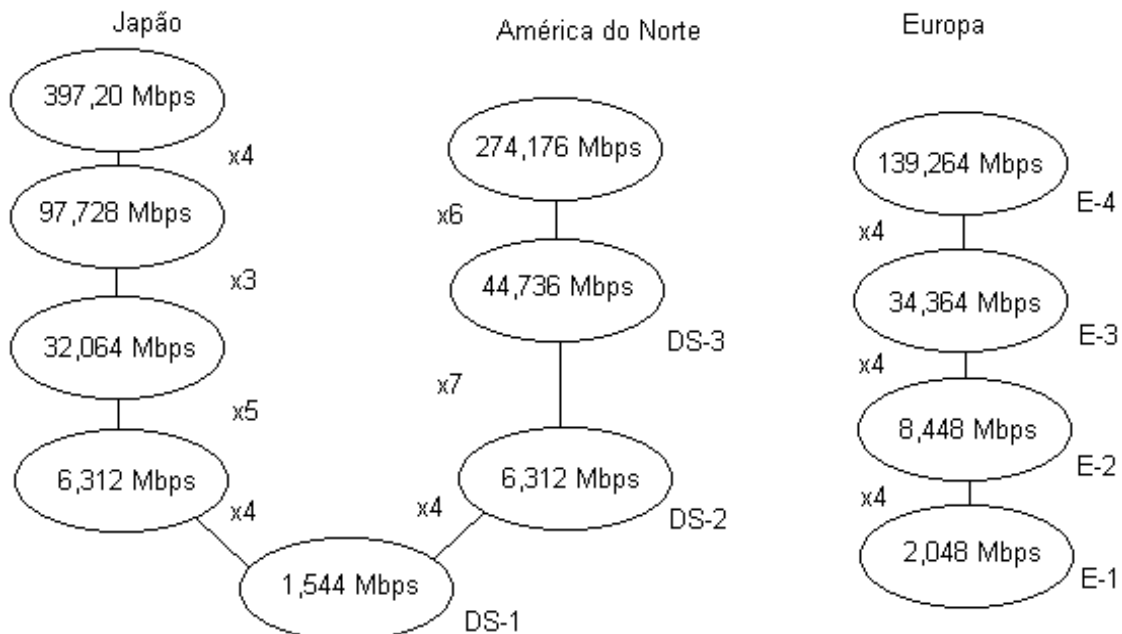
2 VC-3



A estrutura de quadro SDH é vista na figura a seguir:

2.1.3 Mapeamento PDH

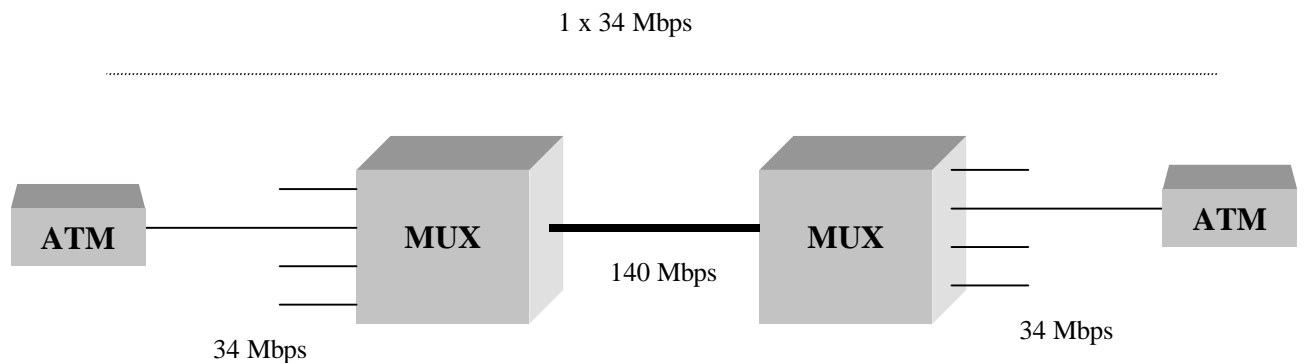
O Padrão DS-1 (utilizado na América do Norte) reúne amostragens de 24 canais em um quadro de transmissão, refletindo em uma taxa de 1,544 Mbps (canal T1). Já o padrão utilizado na Europa e adotado pelo Brasil, consiste de quadros de 32 canais, equívalendo a uma taxa de 2,048 Mbps (canal E1), sendo que 2 desses canais são utilizados para sincronização e sinalização. Os padrões e as taxas desses padrões podem ser observadas na figura a seguir, e referem-se ao PDH tradicional.



No caso do ATM, as seguintes estruturas de quadros estão padronizadas:

Estrutura	Taxa de bit (Mbps)
2,048 Mbps	1,920
34,368 Mbps	33,894
139,264 Mbps	138,240

A figura a seguir mostra um mapeamento de ATM sobre PDH. No caso da figura, a segunda linha é ATM sobre PDH, sendo totalmente diferente do PDH tradicional. Como tem a mesma taxa, a rede pública pode multiplexar a conexão dos multiplexadores em uma taxa de 140 Mbps (4 x 34 Mbps). Esse valor fica durante toda a conexão, da fonte ao destino, não importando o número de multiplexadores que deve passar no caminho. No PDH, o quadro não é desmontado em cada ponto.



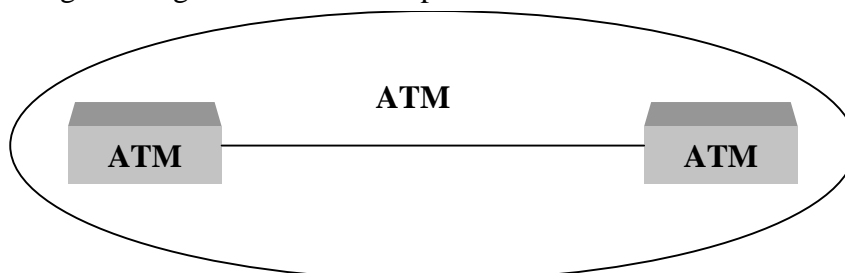
2.1.4 Mapeamento por células

No caso de ATM sobre células, tem-se as seguintes estruturas para transmitir informações:

Estrutura	Taxa de bit (Mbps)
155,52 Mbps	149,760
622,080 Mbps	599,040

Observe que a taxa de bit é a mesma que a do SDH ou do PDH. O overhead nesse caso é devido à células de gerência. O máximo espaçamento entre células é de 26, e a 27ª célula é destinada à camada física - idle ou OAM (Operations And Maintenance). Corresponde aos fluxos f1, f2 e f3 de camada física, ou seja, é equivalente ao RSOH, MSOH e POH no SDH.

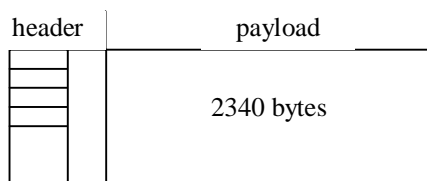
A figura a seguir ilustra esse mapeamento:



2.1.5 Overhead do mapeamento ATM

Foi concluído no item anterior que não importa o mapeamento, a taxa de bits é sempre a mesma, ou seja, o overhead é constante nos vários mapeamentos. Exemplificando para o SDH, temos a seguinte figura:

Sinal STM-1



90 bytes

125 us

- $2340 + 90 = 2430$ bytes
- Taxa total de transmissão = 2430 bytes em 125 us = 19440 bits em 125us = 155,52 Mbps
- Taxa de payload = 2340 bytes em 125 us = 18720 bits em 125 us = 149,76 Mbps

Além do overhead do STM, tem o overhead da célula, que possui 5 bytes de header e 48 bytes de payload. Assim tem-se que a taxa útil de transmissão é:

- Taxa útil de transmissão = $48/53 \times 149,76$ Mbps = 135,631698 Mbps
- Células de informação / s = $135,631698$ Mbps / (48×8) bits = 353.208 células por segundo

Exemplo 1: Quanto tempo leva a transmissão de um arquivo de 1 Mbytes supondo: a) todas células livres. b) uma célula livre a cada 100?

a)

$$1 \times 1024 \times 1024 / 48 = 21.846 \text{ células a serem transmitidas;}$$

$$21.846 / 353.208 = 61,8 \text{ ms}$$

b) $61,8 \text{ ms} \times 100 = 6,18 \text{ segundos.}$

Exemplo 2: Supondo uma transmissão de voz codificada com PCM tradicional sobre STM-1. De quantas em quantas células enviadas é necessário uma célula desta transmissão de voz?

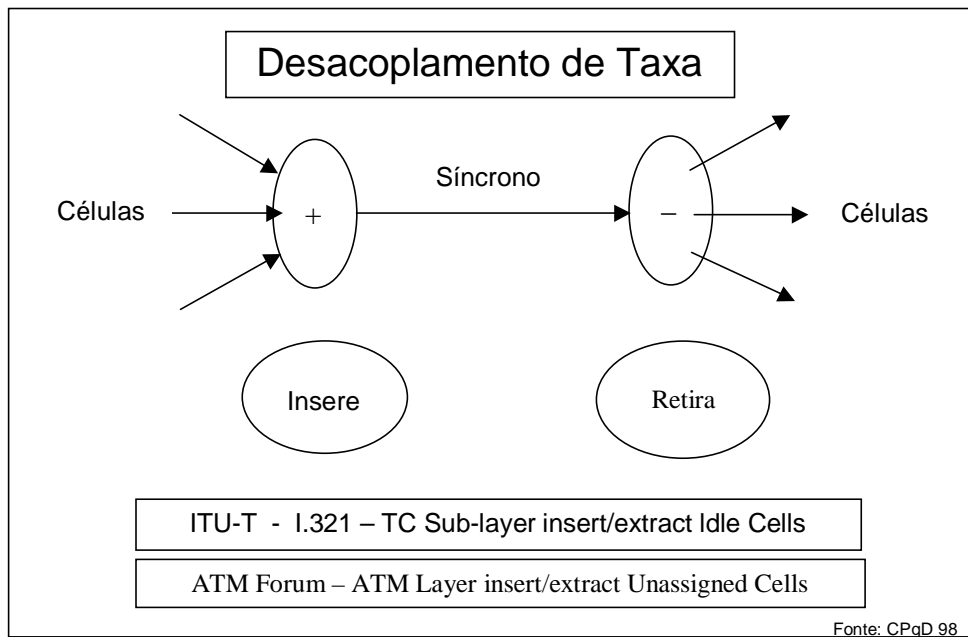
PCM Tradicional: 64.000 bps ou $8000 \text{ bytes} / \text{s} = 8000/48 = 166,67 \text{ células} / \text{s}$

No STM-1, $353.208 \text{ células} / \text{s}$. Então tenho uma célula de voz a cada $353.208 / 166,67 = 2119,2$.

Assim, a camada física vai receber de cima uma célula de voz a cada 2119,2 células enviadas.

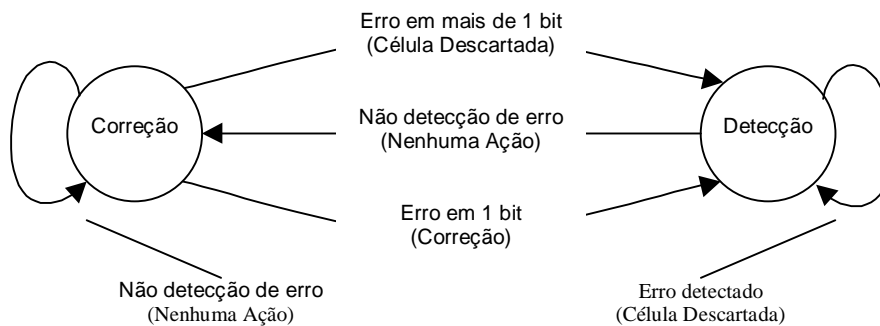
2.2 Desassociação das taxas de células

Como já foi dito, temos uma transmissão assíncrona sobre um meio síncrono. Dessa forma, caso a camada de cima não tenha informações a transmitir, a taxa de células no meio físico deve permanecer constante. É função da camada física inserir na origem e retirar no destino células "idle" quando o ATM não fornece células úteis para transmissão. A figura a seguir ilustra o que foi dito.



2.3 Geração e verificação do HEC

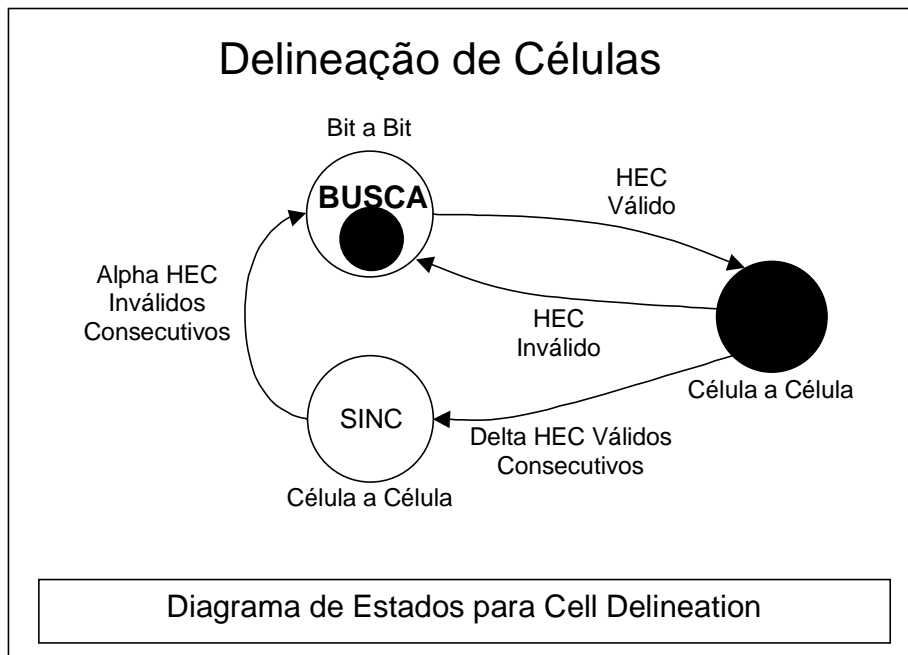
Se deu erro em mais de um bit, descarta célula. Se deu erro em um único bit, corrige automaticamente e muda de estado. Se a próxima célula vier com erro, descarta. A figura a seguir ilustra o diagrama de estados.



Fonte: CPqD 98

2.4 Delineação de células

O sincronismo para delimitar o início da célula é feito através do HEC. Como o algoritmo é conhecido (CRC-8), e sabe-se que os quatro primeiros bytes do cabeçalho geram o último, basta ir lendo byte a byte até fechar. Então testa-se célula a célula por determinado número de vezes. Se repetir, então sincronizou. A figura a seguir ilustra o que foi dito.



Fonte: CPqD 98

3. A camada ATM

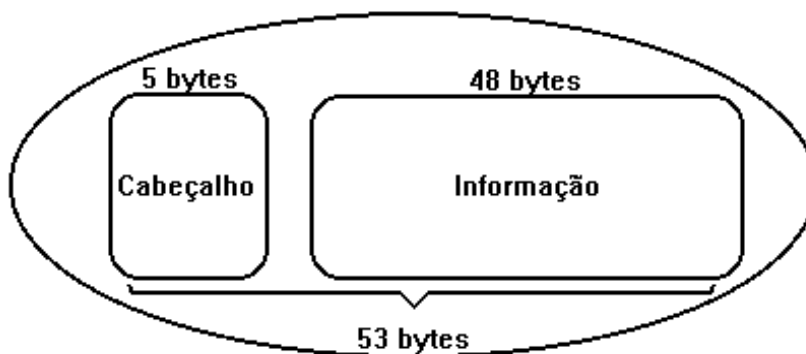
As principais funções da camada ATM estão relacionadas ao cabeçalho da célula, e são:

- Construção da célula: adição do cabeçalho;
- Recepção da célula e validação do cabeçalho;
- Estabelecimento e liberação de conexões virtuais;
- Mux / Demux de conexões virtuais;
- Processamento na rede (roteamento, controle de tráfego e prioridade, suporte para sinalização, suporte para funções de OAM - fluxos f4 e f5).

Antes de analisar as funções da camada ATM, será necessário descrever a célula, seu cabeçalho e os diferentes tipos existentes.

3.1 A célula ATM

As células são de tamanho fixo de 53 *bytes*, com um cabeçalho que ocupa 5 *bytes*, e um campo de informação com 48 *bytes* de comprimento. Dessa forma, cada célula é identificada por seu cabeçalho, que contém informações indicando a conexão com o circuito virtual. A célula ATM pode ser representada como mostra a figura a seguir.



Pelo fato das células serem de tamanho fixo, são diretamente responsáveis pelo enorme ganho de desempenho dos comutadores, terminais e dispositivos de comunicações. A grande razão para as células oferecerem esse ganho é porque elas podem ser processadas mais eficientemente que pacotes de tamanho variável ou “*bit-streams*”. Além disso, através da segmentação do tráfego em tamanho fixo, as células se tornam um poderoso mecanismo que pode multiplexar tráfegos de diferentes características sobre uma estrutura comum de comunicações.

3.1.1 O Retardo de Empacotamento

Para exemplificar o efeito do tamanho da célula no retardo de transmissão, tem-se que voz PCM padrão, a 64Kbps envia 1 byte a cada 125us. Assim, para fechar 48 bytes gasta-se 6 ms, que é o retardo de empacotamento. A mesma coisa acontece na chegada da célula no

destino, ou seja, **voz já atrasa 12 ms devido ao retardo de empacotamento, fora o retardo de propagação.**

- Maior payload: maior retardo de empacotamento - ruim para voz e bom para dados
- Menor payload: menor retardo de empacotamento - bom para voz e ruim para dados

3.1.2 Compromisso voz / dados

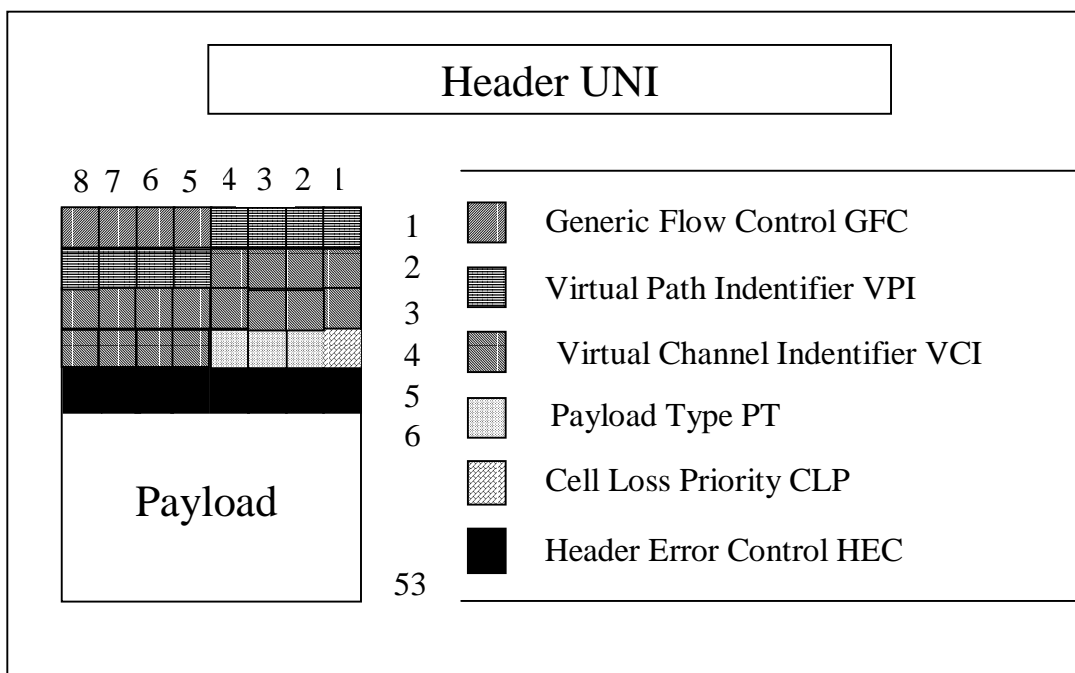
Com base no que foi visto acima, formou-se dois grupos, o de voz, que queria um payload menor, de 32 bytes, e o grupo de dados, que queria um payload maior, de 64 bytes. Dizem que foi tomada uma decisão salomônica, e o payload atual de 48 bytes é a média aritmética entre os dois $((64+32)/2)$.

3.2 O Cabeçalho UNI e NNI

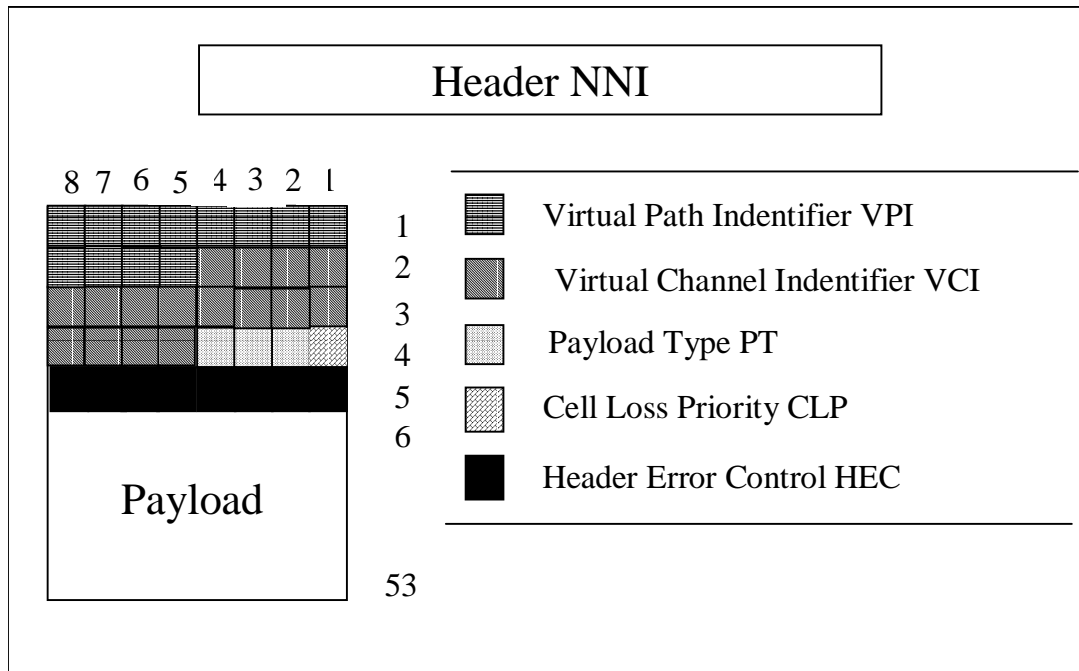
O ATM é orientado à conexão e o meio é confiável, portanto, as funcionalidades do cabeçalho ATM são reduzidas:

- Não identifica fonte e destino (utiliza identificadores nó a nó);
- Não identifica a seqüência de células para efeito de remontagem (se sair de seqüência, dá erro nas camadas superiores - chega tudo trocado);
- Controle de erros e retransmissão somente no destino;

No cabeçalho, somente a geração do HEC é função da camada física, o resto é função da camada ATM. Nos 5 bytes de cabeçalho da célula, encontram-se os campos para comutação (através do par VPI e VCI), identificação do tipo, prioridade para descarte e um verificador de erros do cabeçalho, como mostram as figuras a seguir. No caso da célula ser utilizada em uma interface rede-rede, não há o campo para o controle de fluxo genérico (GFC), aumentando o tamanho destinado ao VPI.



Fonte: CPqD 98



Fonte: CPqD 98

Na transmissão, o primeiro byte a ser enviado é o número 1, bit 8 (no caso NNI, VPI bit 8), a segunda é o VPI bit 7, e assim por diante, da direita para a esquerda e de cima para baixo. O significado dos campos das células está descrito nos itens a seguir.

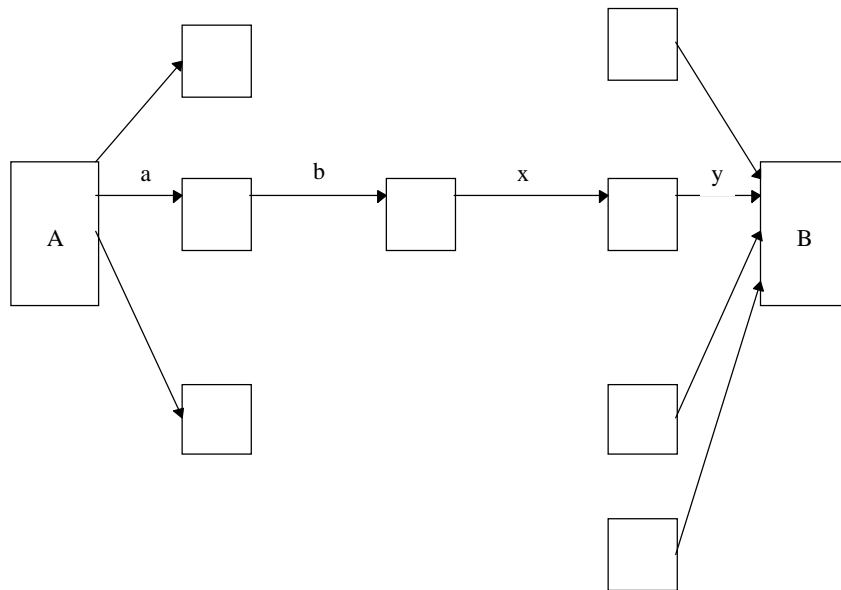
3.2.1 GFC (*Generic Flow Control*)

Quando introduzido, serve para regular o fluxo em uma rede ATM, ou seja, evita condições de sobrecarga nas interfaces do usuário, mas não realiza controle de fluxo sobre o tráfego vindo da rede. Entretanto, sua utilização ainda não foi padronizada, existindo algumas alternativas consideradas, que podem ser encontradas em [BOU92].

3.2.2 VPI (*Virtual Path Identifier*) (8/12 bits UNI/NNI) e VCI (*Virtual Channel Identifier*) (16 bits)

As transmissões numa rede ATM são efetuadas através de conexões. Uma conexão fim a fim é chamada **conexão com canal virtual** (*Virtual Channel Connection - VCC*). Cada conexão virtual em um enlace é denominada de **enlace de canal virtual** (*Virtual Channel link - VCL*). A figura a seguir ilustra isso.

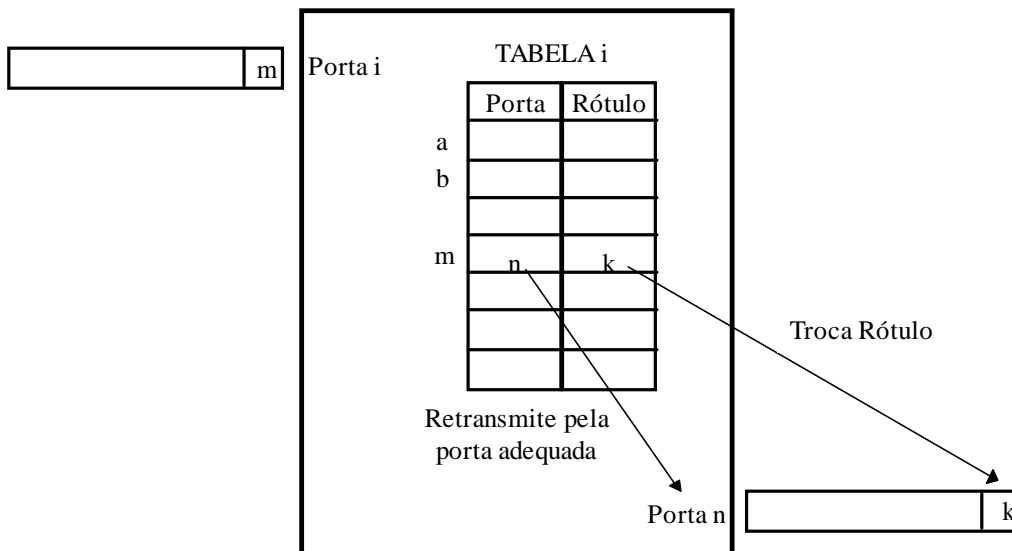
Especialização em Redes de Computadores e Internet



Existe uma VCC entre os pontos A e B da figura acima, formada por quatro VCLs, identificadas pelos rótulos a, b, x e y. Quando A e B estabeleceram a conexão, as tabelas de cada nó intermediário foram atualizadas para redirecionarem as células corretamente.

Quando uma célula chega a um comutador, este identifica o caminho que está registrado no cabeçalho da célula (par VPI e VCI), e consulta um tabela de acordo com a porta de entrada dessa célula, para redirecioná-la a uma porta de saída. Antes da retransmissão, porém, é necessário atualizar o cabeçalho da célula de acordo com o próximo enlace de canal.

A figura a seguir ilustra a comutação através de rótulo [SOA 95]. Na figura, pode-se ver um único rótulo redirecionando a célula, mas é bom lembrar que existem dois rótulos em cada célula, que serão melhor explicados adiante.



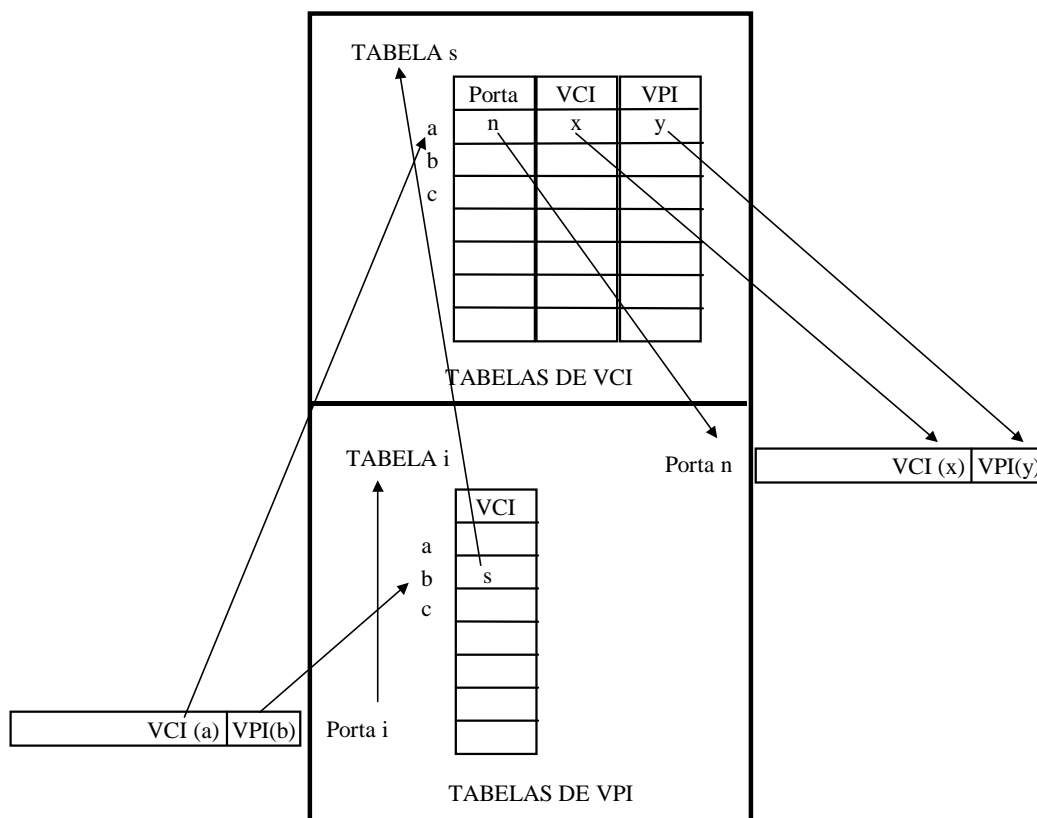
Quando a célula enviada pela porta n (com o rótulo k) chega no outro comutador, o processo é semelhante, ou seja, a tabela da porta por onde chegar a célula será analisada no índice k, retransmitindo a célula pela porta adequada. Esse processo se repete até chegar no destino final.

Um problema na utilização de apenas um rótulo no redirecionamento das células é que, para cada VCC, seria necessário uma entrada na tabela, fazendo-se necessário tabelas muito

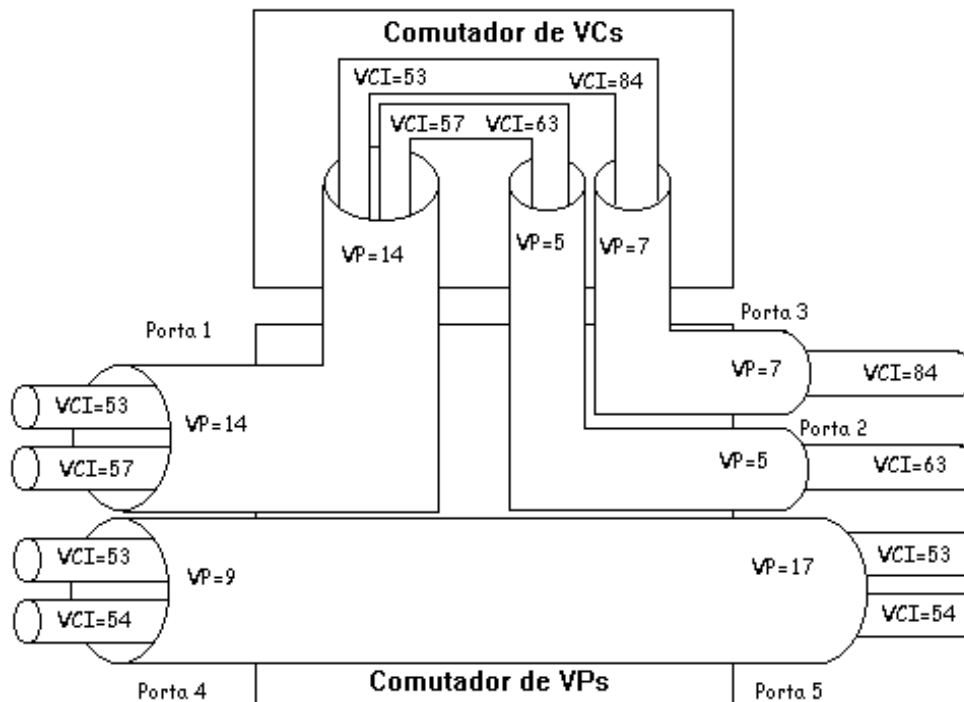
grandes e criando gargalos no comutador. Através da análise do tráfego padrão em redes de computadores, chegou-se à conclusão que em locais de alto tráfego, várias VCCs são roteadas pelos mesmos caminhos, que possuem pequeno número de linhas e alta concentração de tráfego. Isso acontece principalmente no *backbone* da empresa.

Assim, para evitar o grande número de entradas nas tabelas dos comutadores ATM, existem dois rótulos associados a cada célula, o VPI (*Virtual Path Identifier*) e o VCI (*Virtual Channel Identifier*). Existem equipamentos comutadores de VPs e comutadores de VCs. Podem existir diversos VCCs com o mesmo VPI, e essas células passam por diversos comutadores de VPs (que tem poucas entradas nas tabelas), para então passarem por comutadores de VPs e VCs, indo para seu destino corretamente.

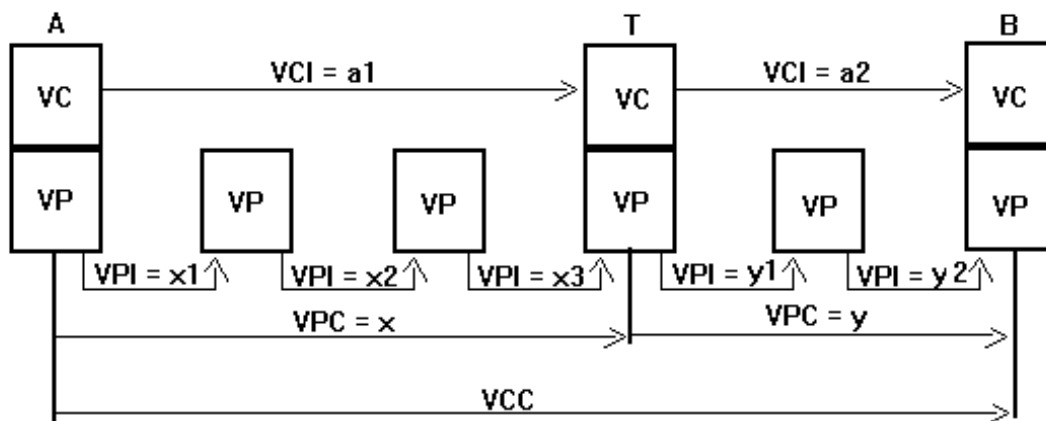
Como foi visto, a identificação de uma conexão é feita pelo par VPI e VCI e pode-se entender que o endereçamento é realizado em dois níveis, onde o VPI seria o nível inferior, e o VCI o nível superior. Em um mesmo VPI, pode-se ter mais de um VCI, porque na comutação de caminhos virtuais (VPs), é feito apenas o mapeamento dos VPIs, ignorando os VCIs. **Essa comutação é utilizada para reduzir o processamento do comutador, deixando que os pontos terminais gerenciem os VCIs de acordo com a necessidade.** Isso quer dizer que o comutador de um ponto terminal tem que examinar o VPI e o VCI. A figura a seguir mostra como é o funcionamento de um comutador de VPs e VCs.



Um exemplo de conexões que utilizam VPs e VCs pode ser visto pela figura a seguir. É possível observar que, para comutar o VC, é necessário que se identifique o VP antes. É possível no mesmo comutador o redirecionamento de células baseado apenas no VP ou no VP e no VC, dependendo da porta em que se encontra. A figura a seguir mostra a porta 4 comutando somente o VP (sem alterar os rótulos de VCI) e a porta 1 comutando VPI e VCI.



A conexão fim-a-fim é chamada de conexão de canal virtual (VCC - *Virtual Channel Connection*). O VCI identifica a conexão de canal virtual, enquanto que o VPI identifica a conexão de caminho virtual. A figura a seguir ilustra a operação de uma rede com comutadores de VP e VC.



Exemplo de funcionamento em conjunto de comutadores VP e VC.

Por que comutadores de VPs e VPs + VCs?

Imagine o sistema de correios da sua cidade. As cartas devem ser enviadas para as mais variadas cidades. Você acha que a pessoa encarregada por separar as cartas por localidade vai se preocupar se o destinatário mora no centro, na rua x número y? Não. Ele simplesmente separa as cartas para São Paulo numa pilha, Rio de Janeiro noutra, Belo Horizonte noutra e assim por diante. Por quê? Para ser mais rápido. Assim, ele é o típico comutador de VPs, que pega somente uma parte do endereço (a mais significativa) para redirecionar.

Já na cidade destino, o carteiro local deve saber a rua e o número para entregar corretamente a carta, conferindo se é o local certo. É o comutador de VCs.

3.2.3 PT (*Payload Type*): 3 bits

Contém o tipo do conteúdo que consta no campo de informação da célula, indicando se são dados do usuário ou informações de gerência. No item "Tipo de Células" adiante, esse campo será visto com detalhes.

3.2.4 CLP (*Cell Lost Priority*): 1 bit

Indica a prioridade de descarte das células em caso de congestionamento da rede. Se este bit estiver ligado, a célula será escolhida para descarte caso necessário.

3.2.5 HEC (*Header Error Control*): 8 bits

CRC X^8+X^2+X+1 . Contém uma seqüência de bits obtida a partir das informações do cabeçalho, de modo a permitir que o receptor verifique a integridade do mesmo. Esse campo é preenchido pela subcamada de convergência da camada física, e **não é responsabilidade da camada ATM**.

É importante observar que não existe qualquer campo na célula que garanta a integridade dos dados. Contudo, é de responsabilidade das camadas superiores a verificação e eventual solicitação de retransmissão de alguma informação que tenha sido corrompida. O objetivo é simplificar o processamento em cada nó intermediário, amparado no fato de ter-se uma grande confiabilidade no meio de transmissão, que normalmente é a fibra óptica.

3.3 Funções da camada ATM

3.3.1 Construção da célula: adição do cabeçalho

A camada ATM insere o cabeçalho, conforme descrito no item anterior. Vale lembrar, entretanto, que o HEC é preenchido e analisado pela camada física.

3.3.2 Recepção da célula e validação do cabeçalho

Quando se fala em validação do cabeçalho na camada ATM, não tem a ver com o HEC (que é camada física), mas sim com os outros campos do cabeçalho. Por exemplo, o VPI ou o VCI pode estar com um valor inválido (foi estabelecido uma faixa de valores entre os switches, e a célula chegou com um VPI ou VCI fora da faixa).

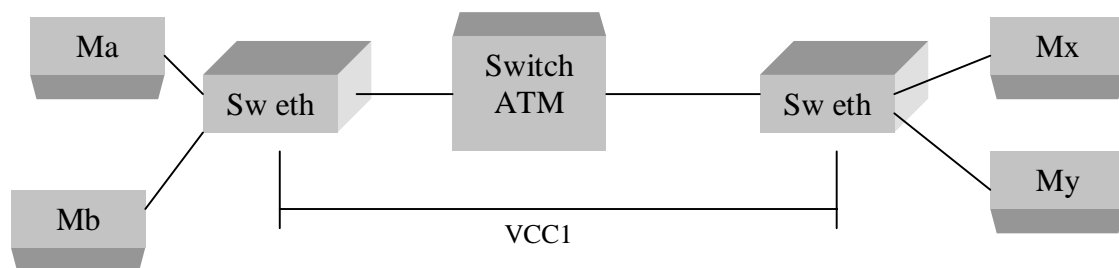
3.3.3 Estabelecimento e liberação de conexões virtuais

Quando duas estações querem conversar através de uma rede ATM, é necessário a criação de uma conexão virtual (VCC). Supondo duas estações ATM e 3 switches entre elas. Cada switch intermediário deve atualizar os campos VPI e VCI a fim de que a conexão seja estabelecida. Dessa forma, quando uma célula com esse identificador passar pelo switch, ele saberá por qual porta deve enviar a célula. Vale lembrar o seguinte:

1. O endereço ATM é uma coisa, e não tem nada a ver com o VPI e o VCI. Os switches intermediários não guardam o endereço ATM, e não sabem o endereço destino da célula. Sabem simplesmente que uma célula na porta X com identificador Y deve ser redirecionada para a porta K com identificador Z.
2. Cada switch pode ter VPIs e VCIs diferentes para a mesma conexão VCC. O identificador vale somente para o switch, e este tem autonomia para gerar um identificador ao criar uma nova entrada na tabela.

3.3.4 Mux / Demux de conexões virtuais

Caso tenha uma rota estabelecida entre fonte e destino (visto através das tabelas do switch), e tenha uma outra conexão para o mesmo lugar, o switch vai utilizar a mesma conexão ATM, e não criar uma nova. Assim, por exemplo, se a máquina Ma estiver falando com a máquina Mx através de uma rede ATM (conexão VCC1), e a máquina Mb quer falar com a máquina My e o caminho é o mesmo (já existe uma conexão VCC1 entre o endereço ATM de origem e destino), então será utilizada a mesma conexão, como mostra a figura a seguir.



4. A Camada AAL

A camada de adaptação (AAL - *ATM Adaptation Layer*) situa-se antes da camada ATM e é responsável pela segmentação dos serviços de seus formatos nativos (originais), para células ATM de tamanho fixo. Diferentes tipos de adaptações são necessárias para os diferentes tipos de serviços prestados.

A camada de adaptação recebe a informação do tipo de serviço a ser transmitido pela rede, alguns de taxa variável, outros de taxa fixa de transmissão, e segmenta essas informações nas células. Essa informação do tipo de serviço que deve ser oferecido vem desde onde foi originado o serviço até a camada de adaptação, que o tratará conforme a necessidade da classe em que ele se enquadra. No recebimento, extrai as informações das células e as remonta em seu formato original.

O AAL não é caracterizado por um conjunto bem definido de funções, ele deve suportar quaisquer funções que forem solicitadas por qualquer protocolo que utilize seus serviços. Podemos exemplificar como serviços por ele oferecidos:

- Recuperação de erros de transmissão;
- Tratamento de perdas e duplicações de células;
- Controle de fluxo e controle de sincronismo;
- Efetua a quebra e remontagem de quadros em células.

4.1.1 Estrutura da AAL

A estrutura do AAL é de duas subcamadas lógicas. A primeira subcamada é a SAR (*Segmentation and Reassembly sublayer*), que tem como finalidade a segmentação das informações de camadas superiores em comprimento compatível com o campo de informações da célula ATM, e a remontagem destes campos de informações em unidades compreensíveis para a camada superior. A segunda subcamada é a CS (*Convergence Sublayer*), que oferece o serviço AAL e contém funções específicas aos protocolos de alto nível. É possível visualizar toda a estrutura da AAL 3/4 e da AAL 5 na tabela 2.

Tabela 2: Estrutura da camada AAL, suas subcamadas e funções.

Camada	Subcamada	Subcamada	Função
AAL	CS	SSCS	Procedimentos específicos para cada classe de serviço
		CPCS	Procedimentos comuns às classes de serviço
	SAR		Segmentação e Remontagem

A subcamada CS recebe um bloco de informações da camada superior, efetua o tratamento de acordo com a classe do serviço, adiciona seu cabeçalho e cauda e repassa esse bloco de informações para a subcamada SAR. Essa, por sua vez, também adiciona seu cabeçalho e cauda e o segmenta no tamanho ATM. Entretanto, dependendo do tipo de AAL, não é incluído o cabeçalho ou a cauda, e eventualmente ambos, como será apresentado a seguir, em Tipos de AAL.

Para suportar os diferentes serviços, estes foram divididos em classes de tráfego, que se diferenciam por suas características. As funções da SAR ficam responsáveis pela segmentação da informação, de forma a “encaixá-la” no campo de informação das células ATM. A

multiplexação dos serviços, detecção de perdas de células e recuperação da relação temporal da informação original no destino são feitas pela CS.

4.1.2 Classes de Serviços

Os serviços foram divididos em classes de tráfego, como pode ser visualizado na tabela 3, seguindo parâmetros como a sincronização entre a origem e o destino (se é ou não necessária), a taxa de transmissão (se é variável ou fixa) e se é ou não orientado à conexão.

Tabela 3: Classificação dos serviços.

Parâmetro	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Sincronização entre origem e destino	Necessária		Não necessária	
Taxa de transmissão	Constante	Variável		
Modo de conexão	Orientado à conexões			Não orientado a conexões
Exemplo de serviços	Emulação de circuitos, vídeo a taxa constante	Vídeo e áudio a taxas variáveis (comprimidos)	Transferência de dados orientada à conexões	Transferência de dados não orientada à conexões
Protocolo AAL	AAL 1	AAL 2	AAL 3, 4	AAL 5

Alguns requisitos dos serviços de classes A e B, que têm como exemplo vídeo a taxa constante (A) e vídeo e áudio a taxa variável (B), são:

- Pequeno retardo máximo de transferência (no pior caso, idêntico ao atraso se houvesse um cabo ligando diretamente os dois pontos);
- Variação de atraso desprezível;
- Transporte de dois bits/bytes com manutenção do intervalo entre eles;
- Tratamento adequado de perdas, duplicações e erros em células recebidas;
- Tratamento do relógio para manter o correto tempo entre as células.

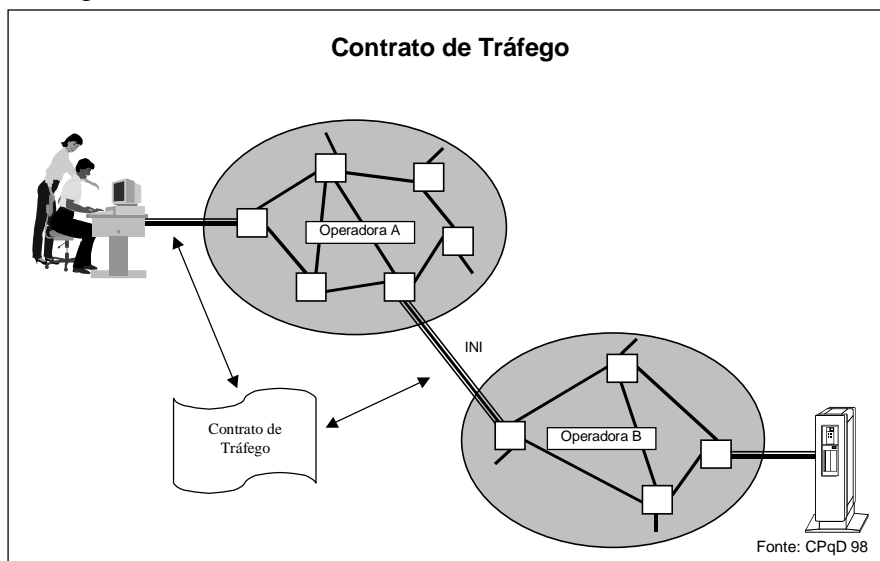
Alguns requisitos dos serviços de classes C e D, que têm como exemplo transferência de dados orientada à conexões (C) e transferência de dados não orientada à conexões (D), são:

- Retardo máximo de transferência moderado;
- Variação moderada do atraso;
- Ausência de requisito de sincronização entre unidades de dados.

5. Contrato de Tráfego, QoS e Desempenho

Este capítulo tem como objetivo definir o que é necessário para que o usuário efetue seu contrato de tráfego com a operadora, ou seja, defina as necessidades de tráfego para saber a classe de qualidade de serviço que deve se encaixar. Para tanto, o usuário deve saber os **parâmetros de desempenho** e os **parâmetros de tráfego**.

A partir dos parâmetros, é feito um contrato entre usuário e operadora (interface UNI), e entre operadoras diferentes (interface INI - *Internetwork Interface*), conforme necessidade. A figura a seguir ilustra o fato.



Os parâmetros necessários serão analisados a seguir, mas antes é necessário introduzir os conceitos de resultado de transferência de células.

Os **resultados de transferência de células ATM** são medidos observando-se eventos em pontos de medidas (MPs) estabelecidos sobre VCCs, e podem ser os seguintes:

- Célula transferida com sucesso;
- Célula *tagged*;
- Célula errada;
- Célula perdida;
- Célula inserida incorretamente;
- Bloco de células severamente errado.

Com esses resultados obtidos entre MP1 e MP2, pode-se **obter parâmetros de desempenho, ou parâmetros de qualidade de transmissão**, que são os seguintes:

- Razão de células erradas (CER - *Cell Error Ratio*);
- Razão de células perdidas (CLR - *Cell Lost Ratio*);
- Taxa de células inseridas incorretamente (CMR - *Cell Misinsertion Rate*);
- Razão de blocos de células severamente errados (SECBR - *Severely Errored Cell Block Ratio*);
- Atraso de transferência de célula (CTD - *Cell Transfer Delay*);
- Variação de atraso da célula (CDV - *Cell Delay Variation*).

Além dos parâmetros de desempenho, o usuário deve saber os parâmetros de tráfego desejados para a sua conexão. Os parâmetros de tráfego são os seguintes:

- PCR: *Peak Cell Rate*;
- MCR - *Minimum Cell Rate*;
- SCR - *Sustainable Cell Rate*;
- CDVT - *Cell Delay Variation Tolerance*;
- MBS - *Maximum Burst Size*.

Com os **parâmetros de desempenho** e os **parâmetros de tráfego**, o usuário vai se encaixar em uma determinada classe de serviço. As classes definidas no ATM Forum 4.0 e no ITU-T são as seguintes:

ATM Forum	ITU-T
CBR - <i>Constant Bit Rate</i>	DBR - <i>Deterministic Bit Rate</i>
VBR (RT) - <i>Variable Bit Rate (Real time)</i>	SBR - <i>Statistical Bit Rate</i>
VBR (NRT) - <i>Variable Bit Rate (Non Real time)</i>	
-	ABT - <i>ATM Block Transfer</i>
ABR - <i>Available Bit Rate</i>	ABR - <i>Available Bit Rate</i>
UBR - <i>Unspecified Bit Rate</i>	

A tabela a seguir informa os parâmetros aplicáveis para cada classe de serviço, segundo o ATM Fórum 4.0 [ALL 95].

Atributo	CBR	VBR (RT)	VBR (NRT)	ABR	UBR
CLR	Sim ¹	Sim ¹	Sim ¹	Sim	Não
CTD e CDV	CDV e CTD máx	CDV e CTD máx	CTD médio	Não	Não
PCR e CDVT	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
SCR e MBS	N/A	Sim	Sim	N/A	N/A
MCR	N/A	N/A	N/A	Sim	N/A
Ctrl de congest.	Não	Não	Não	Sim	Não

1. para CBR e VBR a CLR pode ser não especificada se CLP=1

A seguir os parâmetros citados acima serão analisados com maiores detalhes.

6. ATM e LANs Legadas

Existem diversas formas das redes atuais acessarem redes ATM. Os dois principais modelos são o modelo overlay e o modelo integrado (*peer*). Os principais protocolos de cada modelo são os seguintes:

Modelo *Overlay*

- LAN Emulation (*ATM Forum*);
- Classical IP;
- *Next Hop Resolution Protocol* - NHRP;
- *Multiprotocol Over ATM* - MPOA.

Modelo Integrado (*peer*)

- IP switching (IETF);
- Tag Switching (IETF);
- *Integrated P-NNI* (*ATM Forum*).

Para o objetivo desse curso, serão analisados somente o LAN Emulation e o Classical IP. A ênfase maior será dada ao LAN Emulation pois é o que será mais utilizado no projeto.

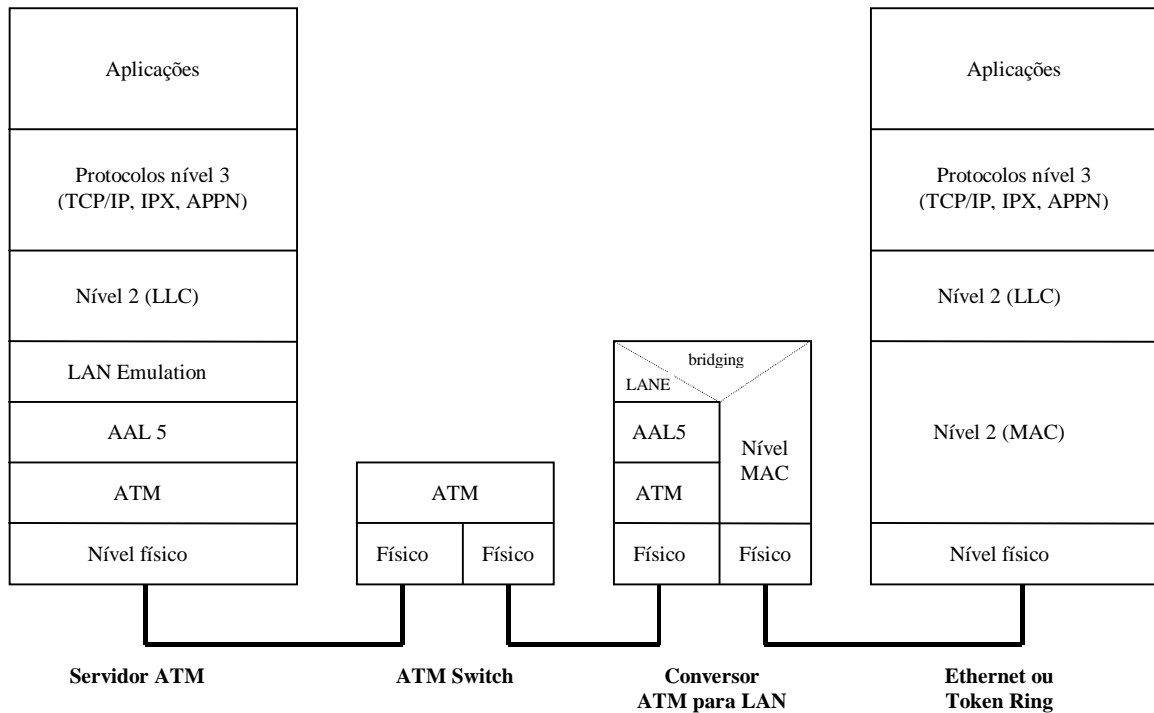
6.1 LAN Emulation

O protocolo LAN Emulation define mecanismos para emular uma rede local (Ethernet ou Token Ring) sobre ATM.

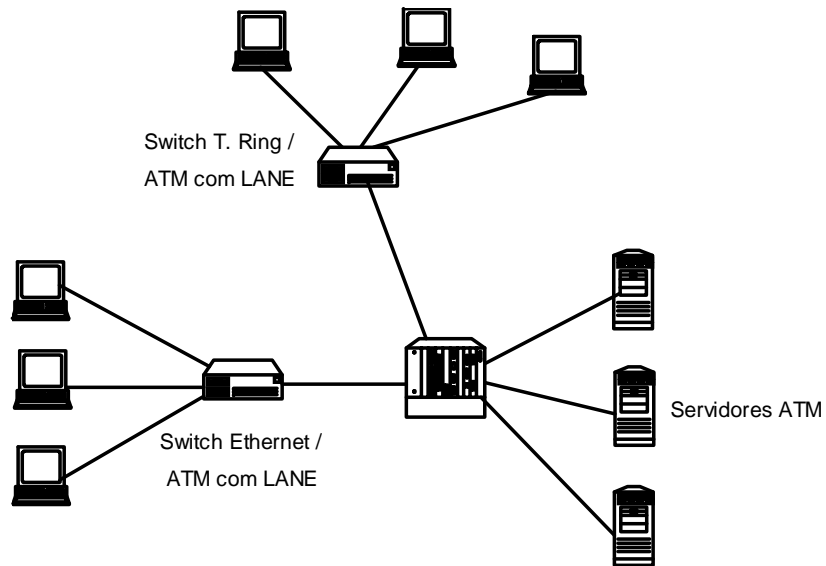
O ATM é uma tecnologia de transmissão de dados orientada à conexão, trabalhando com um endereçamento voltado à formação de canais virtuais (VCCs) a fim de trocar dados entre estações. As redes Ethernet e Token Ring não são orientadas à conexão, utilizando um endereçamento global.

De acordo com a versão 1.0 da especificação LANE, desenvolvido pelo ATM fórum e aprovado em fevereiro de 1995, o principal objetivo do LAN *Emulation* é habilitar aplicações existentes a acessar uma rede ATM transparentemente, como se eles estivessem rodando em redes tradicionais. LANE trabalha no subnível MAC do nível de enlace do modelo OSI, e permite a redes do tipo Ethernet e Token Ring trafegarem sobre ATM sem modificações nas aplicações, sistemas operacionais de rede ou adaptadores de rede. Estações finais de usuários de redes locais convencionais podem utilizar LANE para se conectar a outros sistemas convencionais, bem como a servidores ATM, *hubs*, *switches*, roteadores, e outros equipamentos de rede.

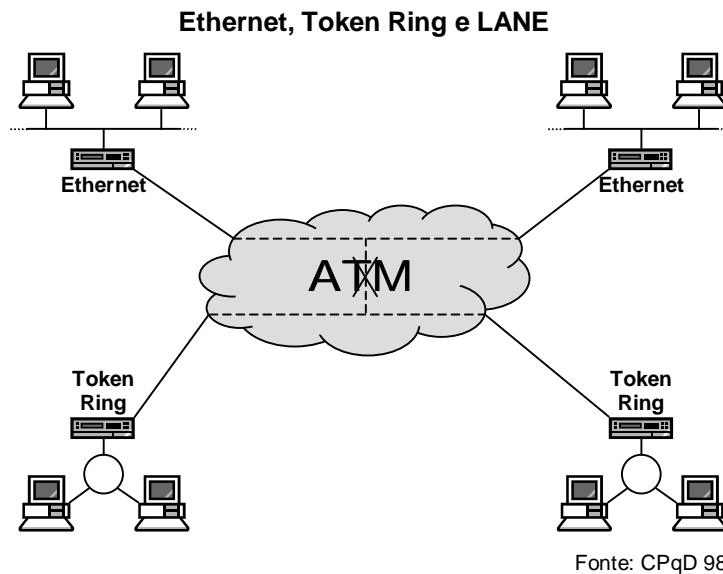
A figura a seguir mostra uma visão conceitual do padrão LANE. Como pode ser visto, o LANE utiliza o AAL5, suportando somente aplicações de classe C, ou seja, transmissão de dados orientadas à conexão. Isso é um problema, pois não há como utilizar as características do ATM para transmissão de áudio e vídeo, pois necessitam sincronismo e se encaixam em outras classes AAL. A versão 2.0 desse protocolo soluciona esse problema.



Uma aplicação típica de LAN Emulation pode ser vista na figura a seguir. PCs em redes Ethernet ou Token Ring acessam os servidores ATM através de um *switch* que suporta LANE.



Uma característica do protocolo, visto na figura a seguir, é que não pode ser utilizado Ethernet e Token Ring ao mesmo tempo na mesma subrede. Para conseguir isso são necessários roteadores.



Dois equipamentos devem suportar o LANE:

- Estação ATM NIC (*Network Interface Card*): deve possuir interface para os protocolos superiores;
- Pontes LAN: sem interface para os protocolos superiores, pois trabalham no nível de enlace. Também são conhecidos como *proxy LECs*, como será visto adiante.

6.1.1 Características do LAN Emulation

As características do LAN Emulation são listadas a seguir:

- Transparente para as camadas superiores;
- Usa sinalização ATM padrão - definido sobre SVCs ponto-a-ponto e ponto-multiponto;
- Utiliza o LE-ARP (*LAN Emulation Address Resolution Protocol*) para resolver endereços;
- A função básica é resolver endereço MAC em endereço ATM;
- Múltiplas LANs emuladas (ELANs) podem coexistir em uma única rede ATM.

6.1.2 Componentes do LAN Emulation

Os componentes do LAN Emulation são:

- LEC (*LAN Emulation Client*);
- LES (*LAN Emulation Server*);
- BUS (*Broadcast and Unknown Server*);
- LECS (*LAN Emulation Configuration Server*).

7. BIBLIOGRAFIA

- [BOU92] BOUNDEC, J.-Y. The Assynchronous Transfer Mode: a tutorial. *Computer Networks and OSDN Systems*, vol 27, n.1. Outubro 1992.
- [CPqD 98] CPqD, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento. Treinamento ATM. Curso efetuado na PROCEMPA. Junho de 1998.
- [ALL 95] ALLES, Antony. ATM Internetworking. Cisco Systems, Inc. May, 1995. Disponível em julho de 1998 no endereço www.cell-relay.com/cisco.htm./**/