

Multiplexagem digital assíncrona

Princípios básicos

Sincronização de relógio por preenchimento de bits nulos nos canais

Sincronização de relógio por preenchimento de bits nulos entre tramas

Hierarquia de multiplexagem plesiócrona (PDH)

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

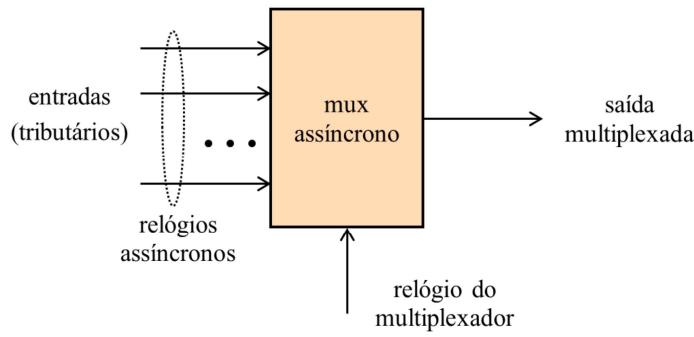
Multiplexagem digital assíncrona

Princípios básicos

Problema dos escorregamentos

- sinais de **entrada** têm **relógios não sincronizados** entre si
- sinal de **saída** tem um **relógio próprio**
- a multiplexagem síncrona conduziria a **escorregamentos**

perda de bits ou
inserção de bits falsos

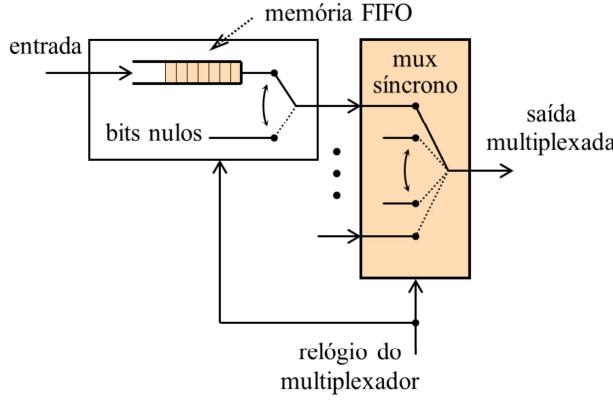


Multiplexador assíncrono

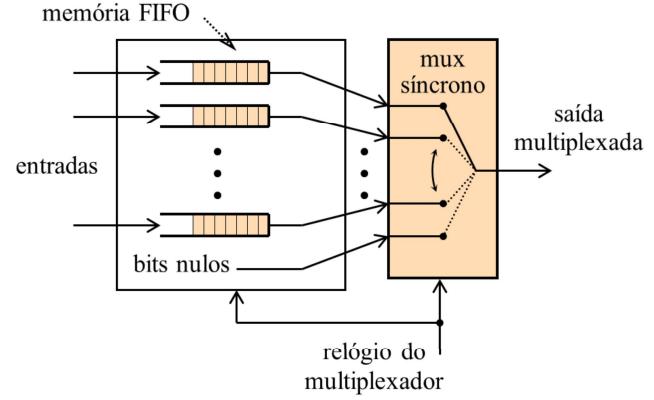
Multiplexagem digital assíncrona

Princípios básicos

- Soluções de multiplexagem assíncrona
- preenchimento de **bits nulos** nos **canais**
 - preenchimento de **bits nulos** entre **tramas**



Modelo de multiplexagem assíncrona
com pré-sincronização por canal de entrada



Modelo de multiplexagem assíncrona
com sincronização conjunta

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Na figura acima, quando o buffer está vazio são transmitidos bits nulos para sincronizar as entradas com a saída.

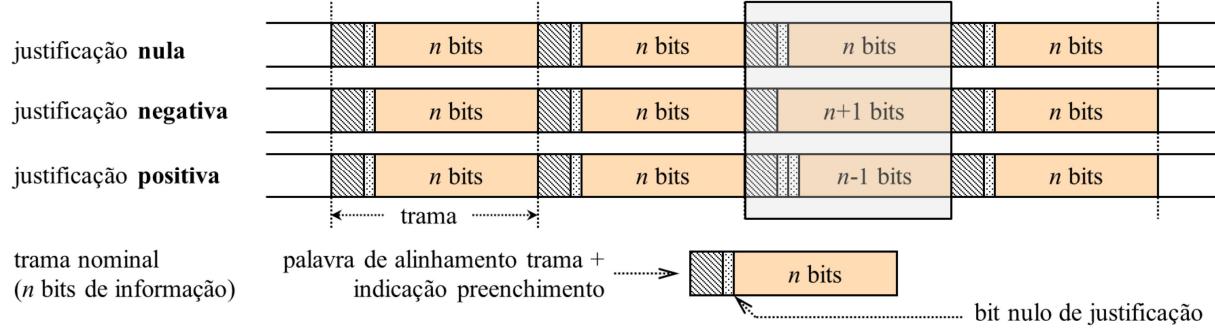
Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Princípio de operação → justificação de bits/octetos

- excesso de bits a transmitir → redução de bits nulos no canal → justificação negativa
- défice de bits a transmitir → aumento de bits nulos no canal → justificação positiva

- bits simples removidos ou inseridos na trama → *bit stuffing*
- octetos removidos ou inseridos na trama → *octet stuffing*



Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits no canal

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

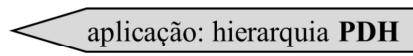
Esta técnica baseia-se na utilização de **bits de justificação** de forma a transmitir eficientemente um sinal digital síncrono através de um sinal portador assíncrono.

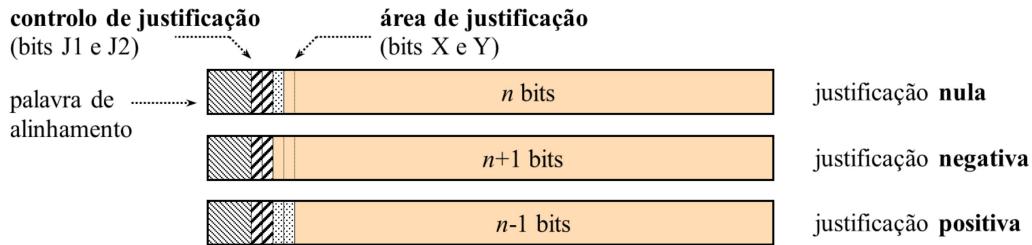
As tramas poderão ter um **comprimento fixo** e os **bits de justificação** preencher mais ou menos a trama, conforme as variações de débito do sinal a transmitir e do sinal portador.

Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Indicação de preenchimento

- bits de controlo de justificação  aplicação: hierarquia PDH



Tipo de justificação	Bits de controlo de justificação		Ocupação dos bits de justificação	
	J1	J2	X	Y
Nula	0	0	Nulo	Info
Negativa	1	0	Info	Info
Positiva	0	1	Nulo	Nulo

bit nulo bit informação

Trama hipotética com justificação controlada por bits específicos na trama

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Na tecnologia PDH é admitido que o débito binário das entradas varie +/- 50 ppm (partes por milhão). No caso da multiplexagem de sinais E1, isto significa a variação de ~102 bits por segundo ($2048 \text{ kbit} * 5 \times 10^{-5}$) para cada tributário. Os bits de justificação permitem acomodar esta variação.

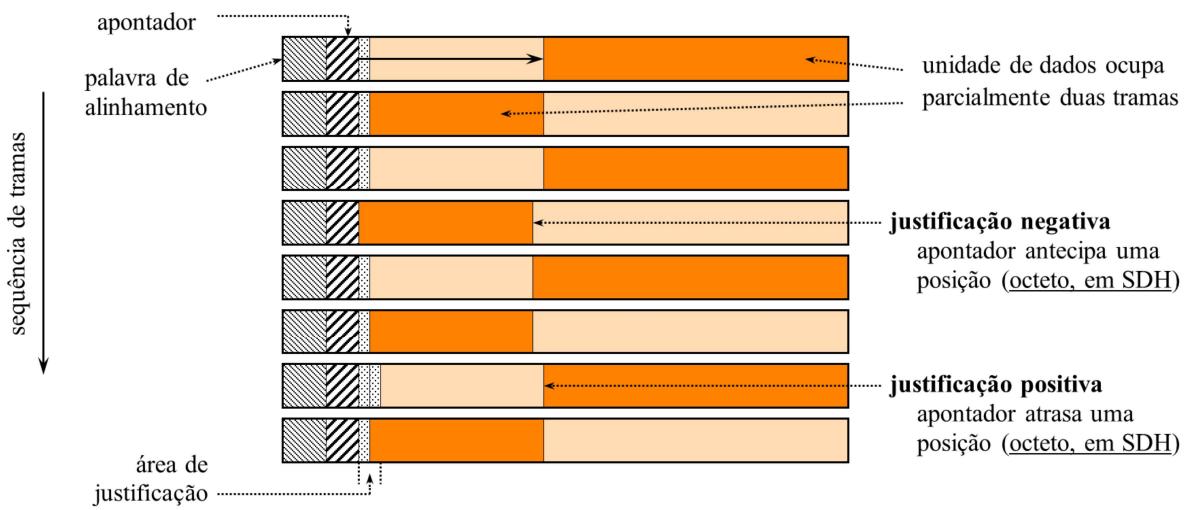
Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos nos canais

Indicação de preenchimento

- definem-se unidades de dados flutuantes nas tramas
- **apontadores** indicam início das unidades de dados

aplicação: hierarquia **SDH**



Trama hipotética com justificação controlada por apontadores

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

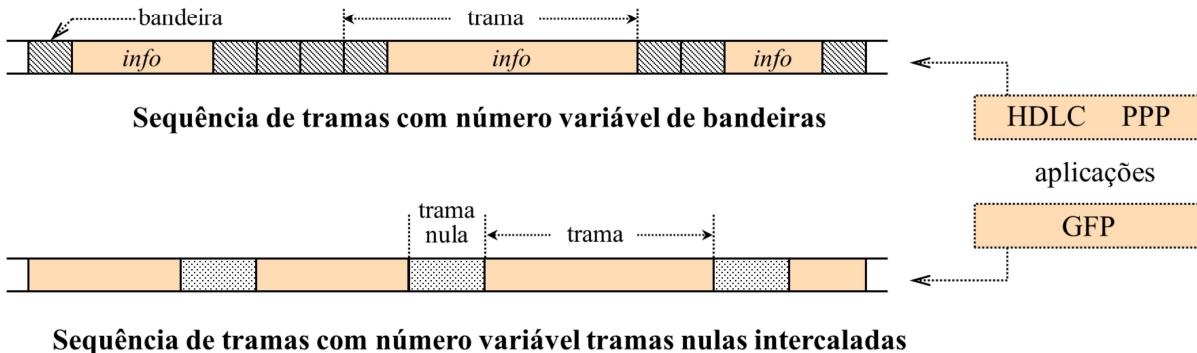
Multiplexagem digital assíncrona

Multiplexagem assíncrona por preenchimento de bits nulos entre tramas

Princípio de operação → **inserção variável** de bandeiras/tramas de preenchimento

- **excesso** de bits a transmitir → **redução de bits nulos** entre tramas
- **défice** de bits a transmitir → **aumento de bits nulos** entre tramas

- bandeiras removidas ou inseridas entre tramas → *flag stuffing*
- tramas nulas removidas ou inseridas entre tramas de informação → *frame stuffing*



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Quando a informação a transmitir se apresenta estruturada em tramas delimitadas por bandeiras, a adaptação de velocidades pode ser efetuada através da **inserção** de um maior ou menor número de **bandeiras** – *flag stuffing*.

Alguns sinais assíncronos de dados ou telex contêm *start-stop* bits que poderão ser usados eficazmente para efeitos de sincronização.

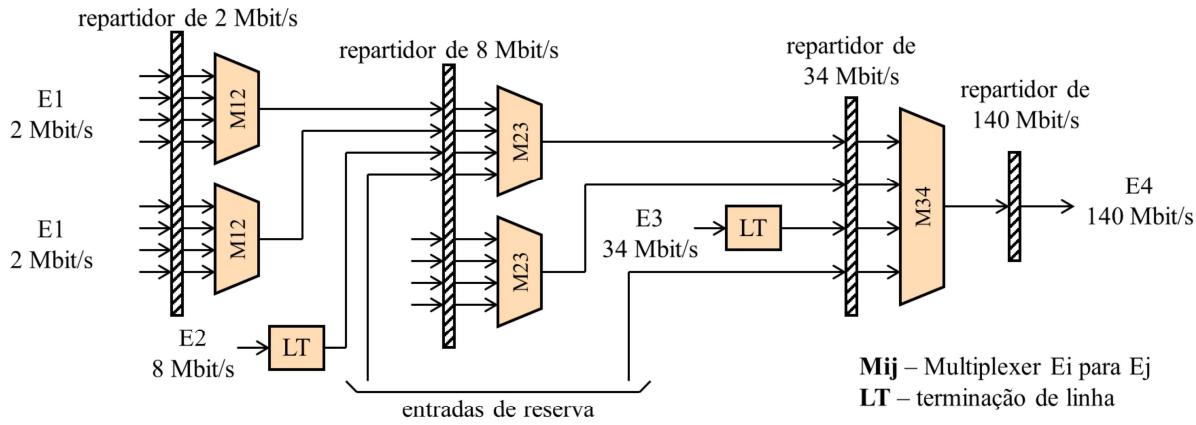
Uma técnica simples consiste em usar um ou mais *stop* bits de acordo com a relação de velocidades entre o relógio do sinal original e o relógio do sinal sincronizado.

Multiplexagem digital assíncrona

Hierarquia de multiplexagem plesiócrona (PDH)

Princípios básicos

- cada sinal de um nível é obtido a partir de n tributários do nível anterior
- os **tributários são assíncronos**, mas com o mesmo débito nominal (plesiócronos)
- a multiplexagem é assíncrona com **justificação apenas positiva / nula**



Multiplexagem num sistema digital plesiócrono (sistema europeu)

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Multiplexagem digital assíncrona

Hierarquia de multiplexagem plesiócrona (PDH)

Vantagens

- + – número de **sistemas normalizados** reduzidos a um **pequeno conjunto**
- níveis adaptados aos sistemas de transmissão de alto débito então existentes (pares simétricos, cabos coaxiais, feixes hertzianos, fibras ópticas)
- crescimento através da adição de novos equipamentos mantendo os anteriores

Limitações

- – taxas de transmissão limitadas a cerca de **565 Mbit/s**
- capacidade rudimentar de operação e manutenção ← **muitos sistemas proprietários**
- reconfiguração simples mas **manual** (alteração física de ligações nos repartidores)
- acesso a um tributário obriga à **desmultiplexagem de todos os níveis superiores**

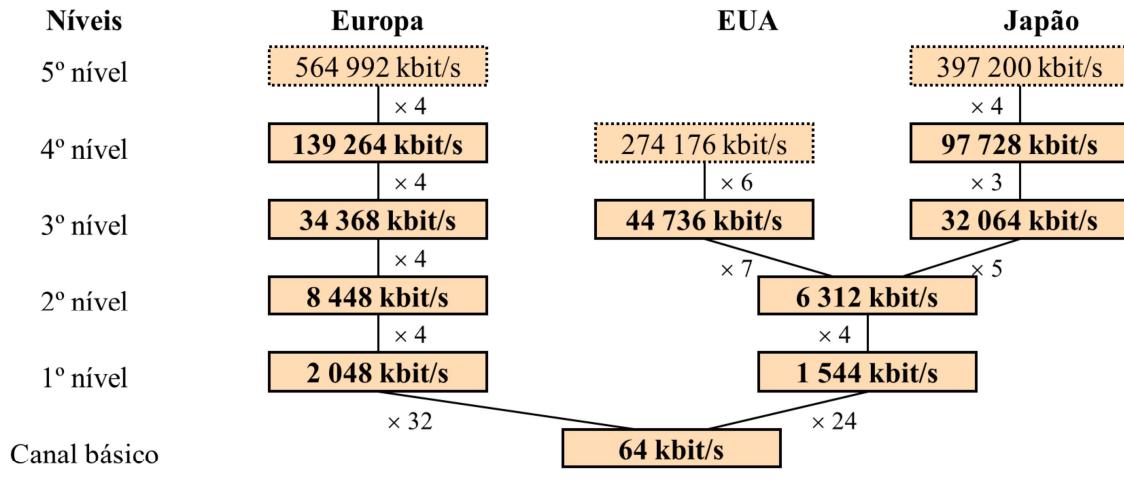
Multiplexagem digital assíncrona

Hierarquia de multiplexagem plesiócrona (PDH)

Sistemas PDH internacionais

- dois sistemas diferentes normalizados pela UIT
- **não houve acordo internacional**

Recomendação G.702
e seguintes



Sistemas PDH internacionais

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

O facto de não haver uma norma internacional gerou problemas de interligação entre redes que utilizam formatos diferentes, tornando necessária a utilização de *gateways*.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios básicos

Vantagens e limitações da hierarquia SDH

Arquitetura

Estrutura de trama

Princípios de multiplexagem

Operação e manutenção

Redes SDH

Aplicação de sistemas SDH na rede de transporte

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Princípios básicos

História

- primeiros sistemas ópticos usavam técnicas proprietárias (codificação, OAM, etc.)
- EUA estabelecem norma ANSI (1988) SONET – Synchronous Optical Network
- UIT estabelece norma única (1990) SDH – Synchronous Digital Hierarchy
Recomendação G.707 e seguintes

Sistema hierárquico

- cada sinal de um nível é obtido a partir de **4 tributários do nível anterior**
- **multiplexagem síncrona** por entrelaçamentos de **octetos**

Hierarquia Digital Síncrona (SDH)	
Nível	Débito (Mbit/s)
STM-1	155,52
STM-4	622,08
STM-16	2 488,32
STM-64	9 953,28
STM-256	39 813,12

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

A **primeira geração** de sistemas de transmissão óptica de alta capacidade usava arquiteturas, equipamentos, códigos de linha, formatos de multiplexagem e procedimentos de manutenção **proprietários**.

Reconhecida a necessidade de estabelecer um quadro de normalização adequado, iniciou-se nos Estados Unidos o desenvolvimento de uma norma ANSI que veio a ser conhecida por SONET – *Synchronous Optical Network*.

Mais tarde, a UIT envolveu-se neste trabalho, de forma que existe apenas uma **norma internacional designada de SDH – Synchronous Digital Hierarchy**.

A norma SDH estabelece uma **unidade básica** a **155,52 Mbit/s**, com um período de $125 \mu\text{s}$ e 2430 octetos (STM-1, *Synchronous Transport Module – Level 1*).

Para garantir a compatibilidade com a tecnologia plesiócrona, o bloco básico **STM-1** é capaz de transportar **qualquer ritmo** de transmissão **PDH**.

Foram também definidos outros blocos com capacidade múltipla do primeiro nível hierárquico, representados por STM-N (*Synchronous Transport Module – Level N*), em que N é um inteiro, sendo obtidos através de um processo simples de **multiplexagem síncrona** de módulos STM-1, não necessitando de informação de controlo adicional.

O débito de um módulo STM-N será portanto N vezes 155,52 Mbit/s, mantendo-se a periodicidade de **125 μs** , facto que é particularmente atrativo para a maior parte das aplicações e serviços (ex: um canal de 8 bits tem uma capacidade de 64 kbit/s).

Os **valores de N** vão sendo **normalizados consoante** o avanço tecnológico dos **sistemas de transmissão**. Atualmente, estão definidos os níveis correspondentes a N=1, 4, 16, 64 e 256.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Vantagens e limitações da hierarquia SDH

- + – **elevadas taxas de transmissão**, acompanhando a evolução tecnológica
 - + – inserção/remoção directa de tributários de qualquer módulo
 - + – funcionalidades muito completas de **operação e manutenção** (OAM)
 - grande **fiabilidade**, com proteção contra falhas
 - possibilidade de **reconfiguração remota** por procedimentos de gestão
 - + – pequeno conjunto de equipamentos normalizados (*Elementos de Rede / Network Elements* – NE) permite desenvolver qualquer rede SDH
 - + – **arquitetura flexível** adaptada aos vários níveis da rede de transporte
 - + – **compatível** com interfaces da hierarquia plesiócrona (suporte de tributários **PDH**)
 - + – **compatível** com **RDIS** de Banda Larga (suporte de fluxos de células ATM)
 - + – possível suportar **tráfego de dados** (interfaces Ethernet 10/100 BaseT e Gbit)
 - – baseada no modo de circuito
- dificuldade em suportar tráfego variável com elevada eficiência**

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Ressaltam-se as seguintes características e vantagens desta hierarquia:

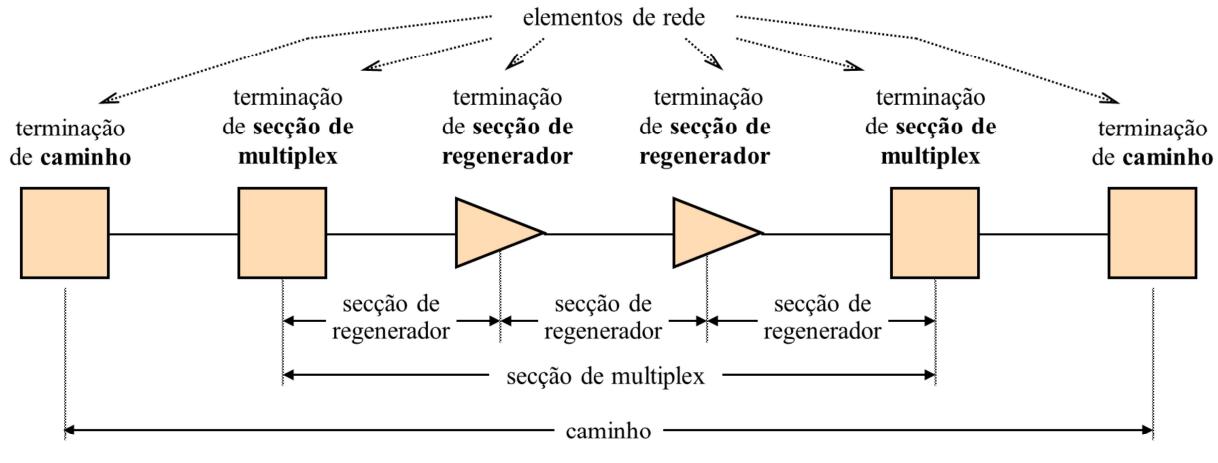
- baseia-se em **técnicas simplificadas de multiplexagem**, permitindo inserir e retirar diretamente do módulo STM-1 canais com débitos desde 64 kbit/s, sem ter de multiplexar/desmultiplexar todos os outros tributários;
- define funcionalidades muito completas de operação e manutenção (OAM);
- **suporta qualquer das interfaces da hierarquia plesiócrona**;
- acompanha a evolução tecnológica na área da transmissão, ao prever débitos cada vez mais elevados, em função da disponibilidade de novos sistemas;
- define um conjunto de equipamentos normalizados (*Elementos de Rede / Network Element* – NE) com os quais é possível desenvolver qualquer rede SDH;
- estabelece uma arquitetura flexível adaptada aos vários níveis da rede de transporte;
- é capaz de acomodar futuras aplicações, nomeadamente no âmbito da RDIS de Banda Larga (B-ISDN) e das Redes de ÁREA Metropolitana (MANs).

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Arquitetura

Características gerais

- define uma **hierarquia de camadas funcionais** da rede de transporte
- cada nível tem atribuído uma etiqueta adicional (*overhead*) para funções de OAM



Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Um **sistema SDH** é definido através de uma hierarquia de **dois níveis**: **secção** e **caminho**. Distingue-se ainda **seção de regeneradores** e **seção de multiplex**.

Cada um dos níveis tem atribuída um adicional (*overhead*) para funções de OAM.

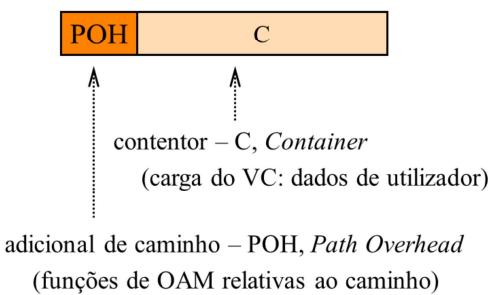
Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Arquitetura

Contentores virtuais (VC, *Virtual Containers*)

- são as **unidades de informação** de utilizador
- incluem **etiquetas** adicionais (*overhead*) do **caminho**
- circuitos são suportados em diferentes contentores virtuais de acordo com o débito

Contentor Virtual – VC, *Virtual Container*



	Contentor	Capacidade (kbit/s)
Baixa Ordem	C-11	1 600
	C-12	2 176
	C-2	6 784
	C-3	48 384
Alta Ordem	C-3	48 384
	C-4	149 760

Estrutura e capacidade da carga dos contentores virtuais

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

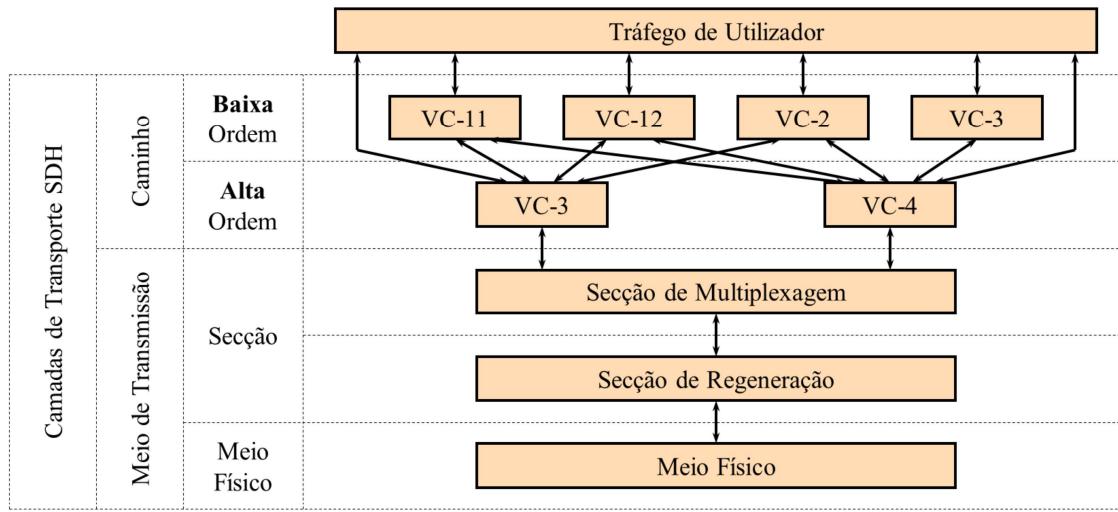
Os contentores C-12 e C-4 são os mais utilizados. O primeiro é usado para mapear sinais E1 (\sim Mbit/s); o segundo é tipicamente usado para mapear células ATM ou pacotes IP.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Arquitetura

Modelo de camadas

- mostra a relação entre as camadas de transporte SDH

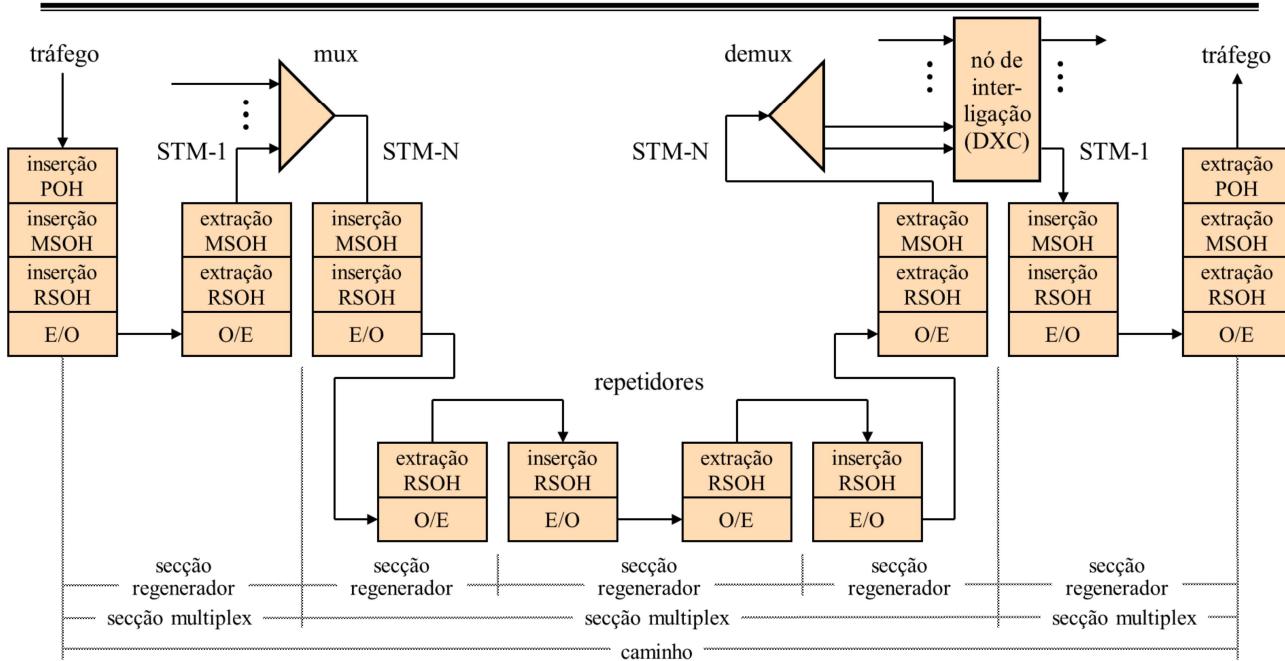


Modelo de camadas SDH

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)



POH Path Overhead
MSOH Multiplex Section Overhead
RSOH Regenerator Section Overhead
E/O Conversão eletro-ótica

Exemplo de uma rede SDH

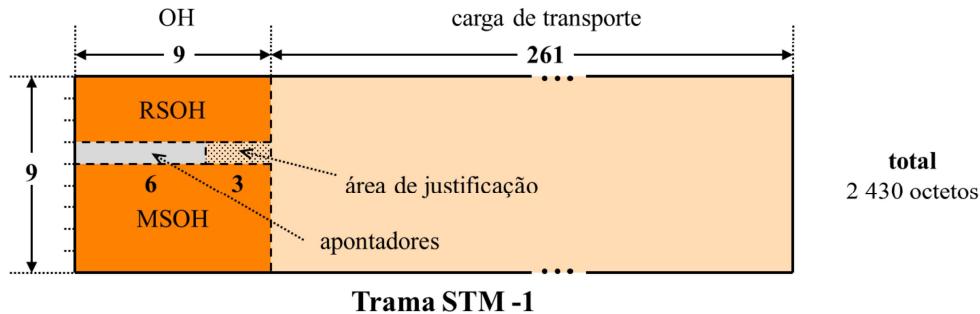
Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

Numa trama SDH o *overhead* é o equivalente ao cabeçalho numa trama Ethernet ou um pacote IP.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Estrutura de trama



Características da trama STM-1

- **período:** 125 µs / frequência: 8 kHz
- **overhead de transporte**
 - apontadores dinâmicos para unidades de informação (Contentores Virtuais de Ordem Alta)
 - overhead de secção de regenerador (RSOH – Regenerator Section Overhead)*
 - overhead de secção de multiplex (MSOH – Multiplex Section Overhead)*
- **carga de transporte:** 9 × 261 octetos (mais até 3 octetos no caso de justificação negativa)
 - apontadores dinâmicos para unidades de informação (Contentores Virtuais de Ordem Baixa)
 - unidades de informação de utilizador (Contentores Virtuais)
 - overhead de caminho (POH – Path Overhead)*

Sistemas de Telecomunicações

Sistemas de Multiplexagem Digital

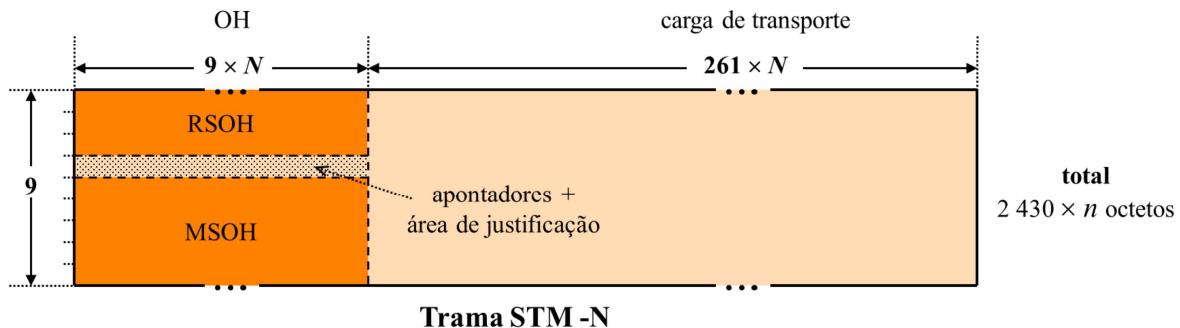
Uma **trama STM-1** é constituída por 2430 octetos organizados da seguinte forma:

- 9 x 9 octetos para funções de overhead de transporte: inclui overhead de seção (MSOH, *Multiplex Section Overhead* e RSOH, *Regenerator Section Overhead*) e apontadores dinâmicos para unidades de informação designadas de Unidades Administrativas (AU, *Administrative Unit*);
- 9 x 261 octetos de informação: inclui a informação de utilizador, overhead de caminho (POH, *Path Overhead*) e apontadores dinâmicos para unidades de informação de nível inferior - tributários.

Constituem-se **tramas STM-N** por **entrelaçamento de octetos de N tramas STM-1**.

Hierarquia de multiplexagem síncrona (SDH)

Estrutura de trama



Características da trama STM-N

- **período:** $125 \mu\text{s}$ / frequência: 8 kHz
- **entrelaçamento de octetos** de N tramas STM-1