1 HIERARQUIAS DE MULTIPLEXAÇÃO DIGITAL SDH / PDH

O PCM primário (2Mbps) é adequado em pequenas distâncias. Para maiores distâncias é necessário maior multiplexação a fim de agregar maior número de canais.

Os sistemas de comunicação digital atuais integram técnicas de transmissão e comutação digitais, por isto também são chamados de RDI (Rede Digital Integrada). As hierarquias de multiplexação associadas a esses sistemas, conforme a recomendação G.702, são o PDH (*Plesyochronous Digital Hierarchy*) e o SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), na Europa, ou SONET (*Synchronous Optical Network*), nos EUA. Esses sistemas são descritos brevemente a seguir. Vale observar que o Brasil segue a norma do padrão Europeu.

- **PDH**: os diversos tributários possuem relógios independentes e com freqüência aproximadamente igual (plesio, do grego, quase igual).
- **SDH / SONET**: é um sistema totalmente síncrono que vem substituindo gradativamente o PDH.

Algumas das recomendações da série G do ITU-T que tratam das características da hierarquia de multiplexação digital pública estão descritas a seguir.

- G.701: Definição de um vocabulário de termos para aplicação em Transmissão Digital,
- G.702: Hierarquias Digitais e taxas de bit associadas.
- G.703: Características físicas e elétricas das interfaces na Hierarquia Digital.
- G.704: Estruturas de quadros síncronos dos níveis 1 e 2 da Hierarquia Digital.
- G.706: Procedimentos relacionados com alinhamento de quadros e CRC, em estruturas básicas de quadro.
- G.711: Multiplexação e *Pulse Code Modulation* (PCM).

Das recomendações sobre características principais de equipamentos de multiplexação primária, destacam-se as seguintes:

- G.734: Características de um equipamento multiplex digital síncrono operando a 1544 kbit/s
- G.735: Características de um equipamento multiplex PCM primário, operando a 2048kbit/s, com acesso digital síncrono a 384 kbit/s e/ou 64 kbit/s.
- G.736: Características de um equipamento multiplex digital síncrono operando a 2048 kbit/s.

A seguir serão detalhados os principais aspectos dessas hierarquias.

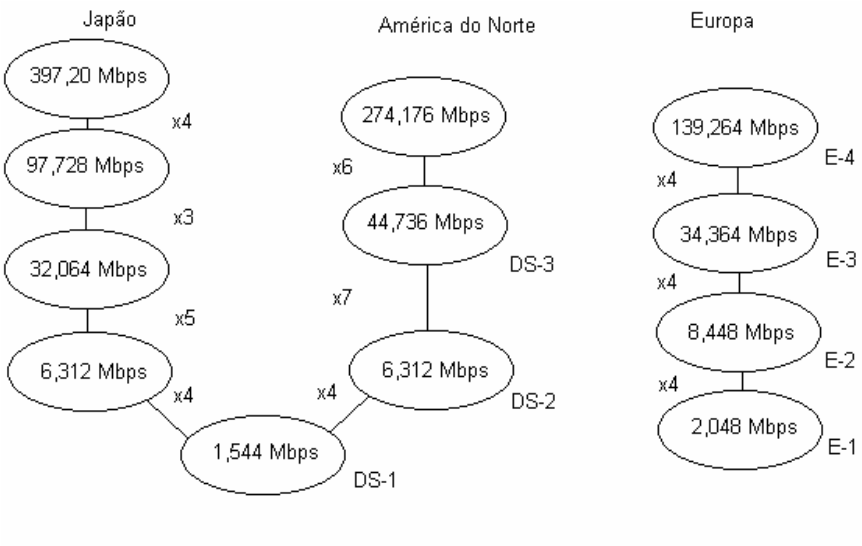
1.1 Hierarquia Digital Plesiócrona (PDH)

A tabela a seguir mostra, de acordo com a recomendação G.702, a designação de cada hierarquia atual no sistema PDH, bem como suas taxas de bit e número de canais de voz digitais (64Kbps) de cada uma.

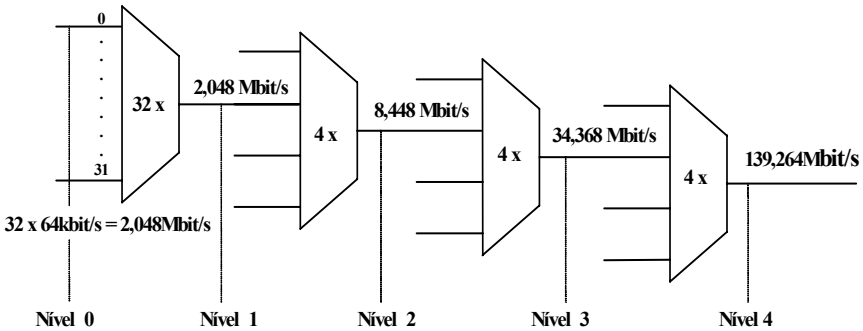
Hierarquia Digital Plesiócrona PDH								
Hierarquia Digital Européia			Hierarquia Digital Americana			Hierarquia Digital Japonesa		
Designa-ção	Taxa [kbit/s]	Equiv. Canal B	Designa-ção	Taxa [kbit/s]	Equiv. DS0	Designa-ção	Taxa [kbit/s]	Equiv. Canal B
Canal B	64	-	DS0	64	-	Canal B	64	-
E1	2.048	32: 30 voz	DS1 (T1)	1.544	24	DS1	1.544	24
E2	8.448	128: 120 voz	DS1C	3.152	48	DS2	6.312	96
E3	34.368	512: 480 voz	DS2 (T2)	6.312	96	J1	32.064	501
E4	139.264	2048: 1920 v	DS3 (T3)	44.736	672	J2	97.728	1527
			DS4NA	139.264	2016			
			DS4 (T4)	274.176	4032			

DS: *Digital Signal* E: Europeu J: Japonês

A figura a seguir mostra graficamente.



Em cada nível de multiplexação é levado em conta o fato de que os relógios dos tributários, além de serem distintos, não são exatamente iguais, mas quase iguais, dentro de uma certa tolerância, por isso chamados sinais plesiócronos (ou seja, *plesio*, do grego, quase igual). A figura a seguir ilustra isso.



Precisão dos relógios dos tributários em cada nível de multiplexação

Nível Hierárquico	Taxa de bits nominal [kbit/s]	Freqüência relógio [kHz]	Tolerância do relógio [ppm: partes por milhão]
0	64	64	± 100
1	2.048	2.048	± 50
2	8.448	8.448	± 30
3	34.368	34.368	± 20
4	139.264	139.264	± 15

O multiplexador amostra cada tributário a uma taxa máxima de relógio permitida e, quando não há nenhum bit no registrador de entrada, porque os bits vem a uma taxa um pouco menor, é adicionado um bit de enchimento *(stuff bit)* no fluxo de bits agregado. É claro que existe um mecanismo que sinalizará ao demultiplexador que foi feito um "enchimento" e que este bit deverá ser retirado do fluxo na recepção.

O quadro do E2 é mostrado a seguir [MOE 97]. Possui um total de 848 bits (4x212).

Grupo I			**Grupo II**		**Grupo III**		**Grupo IV**		
1..10	11..12	13..212	1..4	5..212	1..4	5..212	1..4	5..8	9..212
PAQ	BS	BI (200)	C1 a C4	BI (208)	C1 a C4	BI (208)	C1 a C4	J1 a J4 (ou BI)	BI (204)

- **PAQ**: Palavra de Alinhamento do Quadro: 1111010000
- **BS**: Bits de Serviço
- **BI**: Bits de Informação (dividido igualmente para cada entrada: 50 bits, 52 bits ou 51 bits)
- **C1 a C4**: Bits de controle de justificação do tributário 1 a 4. C_i em "1" indica que J_i contém bit de enchimento. C_i em "0" indica que J_i contém bit de informação. Os bits de controle são triplicados a fim de criar uma certa tolerância a falhas. O receptor assume que a maioria está correta.
- **J1 a J4**: Bits de justificação do tributário 1 a 4. Pode significar enchimento (caso a taxa do tributário seja mais lenta que a taxa de saída) ou informação (caso a taxa do tributário seja mais rápida que a taxa de saída).

Exercício 1: qual o overhead (em bit/s) de sinalização e sincronismo no PDH Europeu para os canais E1?
Exercício 2: No E2, calcule o número de quadros por segundo e a duração aproximada de cada quadro.

1.2 Hierarquia Digital Síncrona SDH / SONET

Tendo em vista as diferenças entre os sistemas PDH europeu, americano e japonês, torna-se difícil a interligação desses sistemas num sistema de comunicação digital mundial unificado. Esse fato, além de outros fatores (como a dificuldade de conseguir altas taxas de transmissão com relógios "quase iguais"), contribuíram para a definição de um novo sistema de comunicação digital, que desse suporte para a transmissão em altas taxas, além de perfeita compatibilidade entre as diversas hierarquias de multiplexação digitais existentes. Também foram fatores decisivos a necessidade de maior flexibilidade e confiabilidade desses sistemas, além de facilidades de gerenciamento, reconfiguração e supervisão, enfim, um sistema dentro do conceito de Rede Inteligente.

Esse novo sistema é conhecido como Hierarquia Digital Síncrona, SDH *(Synchronous Digital Hierarchy)* (europeu), ou SONET *(Synchronous Optical Network)* (americano). A principal característica dele, como diz o próprio nome, é o fato de que é totalmente síncrono, baseado em um relógio mestre universal com precisão atômica.

Para compatibilização, os canais digitais do sistema PDH, após passarem por um processo de adaptação, podem trafegar pelos canais síncronos de alta velocidade do sistema SDH/SONET.

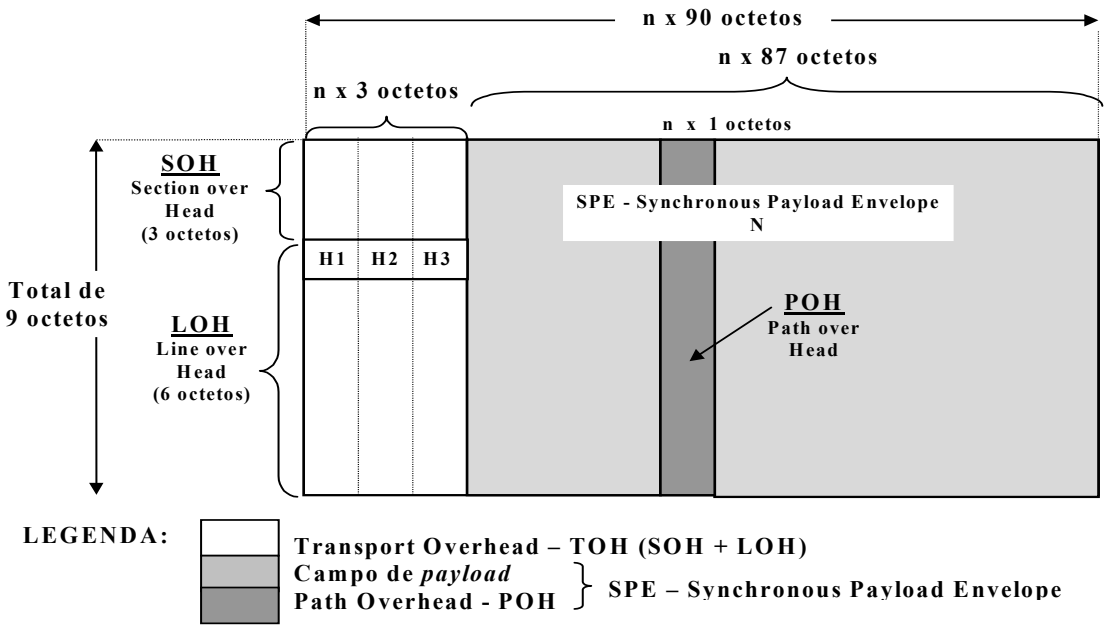
Por volta de 1985, o comitê T1X1 da ANSI, desenvolveu as primeiras interfaces para troncos óticos de alta velocidade baseados em fibra ótica, conhecidas como SONET. A partir de 1988, muitos dos estudos, interfaces e propostas da SONET foram acolhidas pelo ITU-T através das recomendações G.707, G.708, e G.709, tornando-se desta forma um padrão mundial conhecido como SDH do ITU-T.

Na tabela a seguir tem uma comparação entre a Hierarquia Digital Síncrona SDH européia e o SONET americano equivalente. A principal diferença entre os dois sistemas é em relação à estrutura do quadro do canal básico, a partir do qual é estruturada a hierarquia de multiplexação, e à designação dos diversos canais. Enquanto o SONET inicia com um canal chamado STS-1, de 51,84 Mbit/s, o sistema SDH começa com um canal designado de STM-1, de 155,52 Mbit/s.

Hierarquia Digital Síncrona SDH/SONET			
Designação SONET (ANSI)	**Designação SDH (ITU-T)**	**Taxa [Mbit/s]**	**Taxa útil [Mbit/s]**
STS-1 (OC-1)	-	51,84	49,536
STS-3 (OC-3)	STM-1	155,52	149,76
STS-9 (OC-9)	STM-3	466,56	449,28
STS-12 (OC-12)	STM-4	622,08	599,04
STS-18 (OC-18)	STM-6	933,12	898,56
STS-24 (OC-24)	STM-8	1244,16	1198,08
STS-36 (OC-36)	STM-12	1866,24	1797,12
STS-48 (OC-48)	STM-16	2488,32 (2,4 Giga)	2396,16
OC-192		9953,28 (10 giga)	
OC-768		39813,12 (40 Giga)	

STS: *Synchronous Transport Signal* STM: *Synchronous Transport Module*
ANSI: *American National Standards Institute* OC: *Optical Carrier*

Na figura a seguir é apresentado a estrutura genérica de um quadro STS-n do SONET, em que *n* indica o número de canais básicos multiplexados em cada nível da hierarquia de multiplexação digital, conforme é mostrado na tabela acima. A duração de um quadro STS ou STM é sempre de 125 µs, e seu tamanho em octetos varia de acordo com o nível de multiplexação. Tanto o STM como o STS possuem um campo de informação útil chamado de *Synchronous Transport Envelope* (SPE), que é inserido de forma variável em relação ao tempo, dentro da estrutura síncrona do STM/STS.

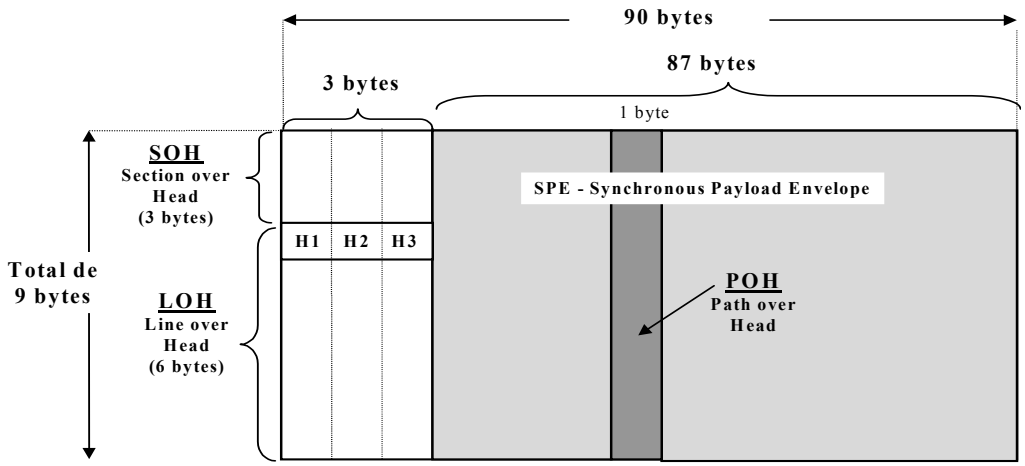


Além do campo de informação útil (*payload*), os quadros STM/STS possuem mais três campos de informação ou cabeçalhos, os quais contém informação para cada um dos protocolos dos três níveis da rede síncrona: rota, linha e seção, e que por isso também são chamados de:

- *section overhead* (SOH): informações de sincronismo de quadro, entro outras;
- *line overhead* (LOH): utilizado para multiplexar e demultiplexar as Unidades Administrativas (utilizado para compatibilizar SDH e PDH)
- *path overhead* (POH):

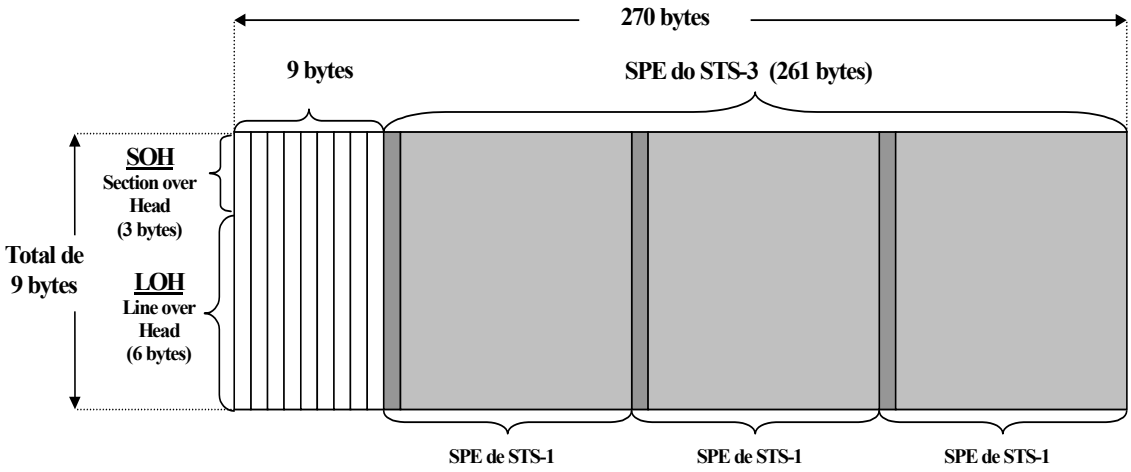
O POH e o *payload* formam o campo do SPE, cujo início pode flutuar em relação à estrutura síncrona fixa do SDH/SONET. Os cabeçalhos LOH e o SOH estão localizados na parte fixa do quadro STM/STS. No nível de linha é feita a multiplexação e por isso os ponteiros (bytes H1, H2, H3), que implementam o mecanismo de adaptação entre o relógio do tributário e o relógio mestre do sistema SDH, estão localizados neste cabeçalho.

O número de bytes associados a um determinado quadro, e o número de bytes dos diversos campos que o compõem, varia em cada nível de multiplexação de acordo com o valor de *n*. Assim, por exemplo, com n=1, obtemos o quadro STS-1 básico, que é mostrado na figura a seguir.



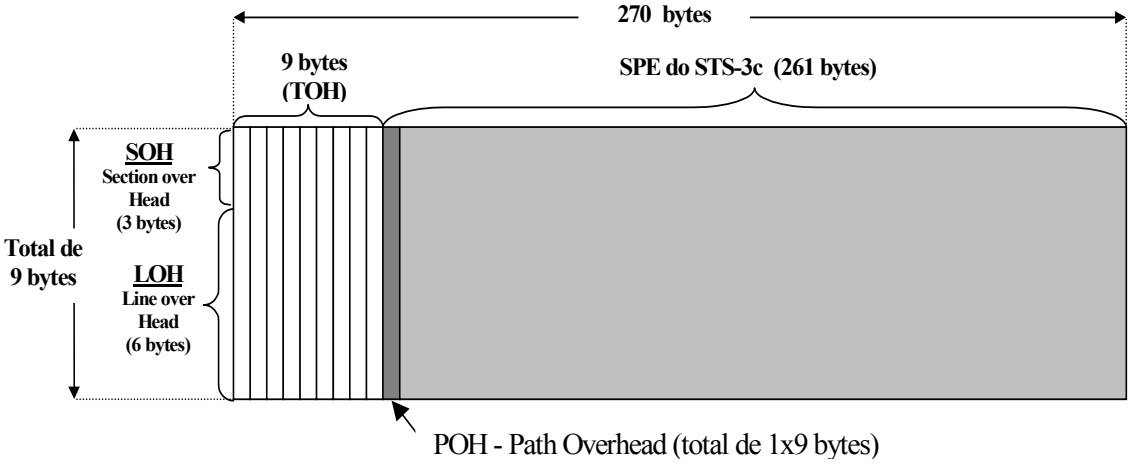
Exercício: Calcule a taxa de transmissão total e útil de um quadro STS-1 básico.

Já um quadro STS-3, n=3, possui um total de 3x90x9=2430 bytes e um campo de SPE de 3x87x9=2349 bytes como pode ser observado na figura a seguir. Para os diferentes cabeçalhos teremos; POH=3x9=27 bytes, o campo LOH=3x3x6=54 bytes, e o campo SOH=3x3x3=27. A eficiência do STS-3 pode ser calculada então como sendo; ((2430-108)/ 2430)*100 = 95,55 %. Como se observa, o STS-3 é uma versão multiplexada de 3 STS-1. Todos os quadros SONET são derivados de SPEs de quadros básicos STS-1 (STS-12, STS-24 ...etc.).



1.3 Compatibilização entre SONET e SDH

Para que houvesse compatibilização entre o SDH (estruturas STM) e o SONET (estruturas STS) foi definido o STS-3c que é praticamente equivalente ao STM-1 do SDH. Lembramos que o STM-1 é o quadro básico do SDH, como mostra a figura a seguir.



A cada quadro STS-3c está associada uma banda de 155,52 Mbit/s (cada byte fornece uma banda de 64 kbit/s). O quadro STS-3c é formado por 2430 bytes, destes, 90 são consumidos pelo TOH (*Transport Overhead*), constituído pelo SOH e o LOH, o que implica que 2349 bytes são ocupados pelo SPE (*Synchronous Payload Envelope*) que é formado pelo POH (9 bytes) mais o *payload* propriamente dito (2340 bytes). A eficiência do STS-3c será portanto 2340/ 2430).100 = 96,296 %, superior portanto ao STS-3.

A compatibilização entre o sistema americano SONET, e o europeu SDH, se dá através do quadro básico STM-1 do SDH (155,52 Mbit/s) e o quadro STS-3c do SONET (155,52 Mbit/s). Basicamente as duas estruturas são idênticas, a menos de diferenças menores referentes à interpretação dos cabeçalhos SOH e LOH.

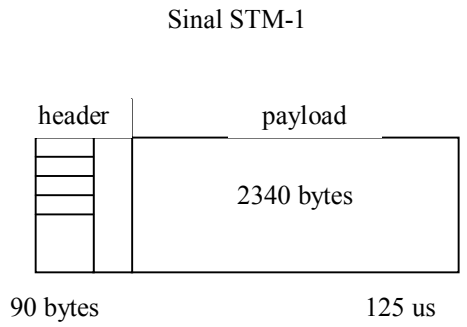
Para saber a composição de um quadro STM-n pode-se usar a seguinte expressão de equivalência: **STM-n = STS-*3n***

Por exemplo o quadro STM-1 possui um total de 3x90x9=2430 bytes e um campo de SPE de 3x87x9=2349 bytes.

Exercício: Calcule a taxa de transmissão do quadro STS-3c (STM-1) básico. Calcule a taxa bruta e útil.

1.3.1 Exemplo - Overhead do mapeamento ATM

A célula ATM tem 53 bytes, sendo que 5 são de *overhead* (cabeçalho) e 48 de *payload* (carga útil). No SDH, temos a seguinte figura para um sinal STM-1:



90 bytes (SOH+LOH+POH)

- 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 cabeçalho e 48 bytes de *payload*. Assim, tem-se que a taxa útil de transmissão é:

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

Caso 1: no STM-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)
1x1024x1024/48 = 21.846 células a serem transmitidas;
21.846 / 353.208 = 61,8 ms
b) 61,8 ms x 100 = 6,18 segundos.

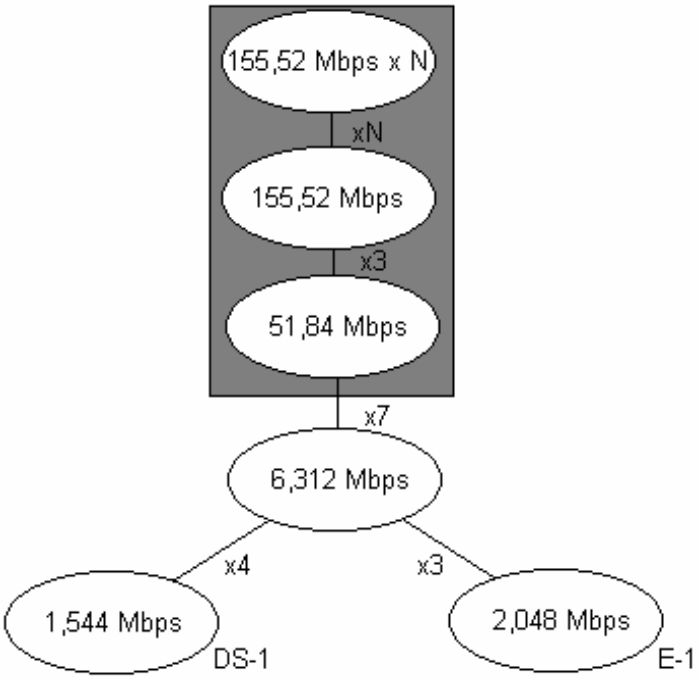
Caso 2: Supondo uma transmissão de voz codificada com PCM tradicional sobre STM-1. De quantas em quantas células enviadas é necessário uma célula desta transmissão de voz?
PCM Tradicional: 64.000 bps ou 8000 bytes / s = 8000/48 = 166,67 células / s
No STM-1, 353.208 células / s. Então tenho uma célula 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.

Exercício: No STS-12 em um link ATM, quanto tempo leva a transmissão de um arquivo de 3 Mbytes supondo: a) todas células livres. b) uma célula livre a cada 100?

Exercício: Supondo uma transmissão de voz codificada com PCM tradicional sobre STS-12 num link ATM. De quantas em quantas células enviadas é necessário uma célula desta transmissão de voz?

1.4 Compatibilização entre SDH e PDH

A figura a seguir mostra um exemplo de compatibilização entre os dois sistemas.



1.5 BIBLIOGRAFIA

/ROC 99/ ROCHOL, Juergen. **Redes de Computadores – 2ª parte**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Informática. 1999.

/ROE 98/ ROESLER, Valter. **ATM – *Asynchronous Transfer Mode***. Apostila de curso. 1998.

/TAN 96/

/MOE 95/