

# WANTEC2

## Tecnologias de Redes WAN

### Redes PDH-SDH-SONET

Esta nota de aula e o material suplementar (slides da aula) podem ser obtidos em:

<https://drive.google.com/drive/folders/1c0YmjH-DfS7AiHOzKr8aGuufsCZdkYD-?usp=sharing>

Nesta aula abordaremos a tecnologia SDH, similar ao padrão americano Sonet. Esta foi a primeira tecnologia utilizada para transmissão em redes ópticas. Foi implantada ao longo da década de 1990, no início do processo de convergência das redes. Tinha como objetivo atender o tráfego telefônico. Embora atualmente seja uma tecnologia obsoleta, ainda há redes legadas que vão sendo substituídas conforme os equipamentos chegam ao final de sua vida útil. A tecnologia SDH é uma tecnologia de camada física e camada de enlace (camadas 1 e 2), concorre diretamente com a tecnologia Gigabit Ethernet. Esta segunda é muito melhor adaptada para transmissão do tráfego IP, o que explica, em parte, a obsolescência do SDH. As redes SDH permitem a realização de arquitetura de redes em anéis com proteção. Esta característica é importantíssima em redes ópticas, em que as falhas podem resultar na interrupção de enormes volumes de tráfego. A arquitetura em anéis permite alcançar níveis de confiabilidade de 99,999%. Os sistemas SDH operam a taxas de até 40Gbps.

## Classificação Quanto ao Sincronismo

- Rede assíncrona
  - Cada equipamento opera numa frequência.
  - Apenas sincronismo na recepção da transmissão.
- Rede plesiócrona
  - Toda rede opera quase com a mesma referência de frequência.
  - Apenas sincronismo na recepção da transmissão.
- Rede síncrona
  - Toda rede opera com a mesma referência de frequência.
  - Pode haver diferença de fase.
  - Há apenas um único relógio primário
  - Precisão do relógio de  $1E-11$  (GPS ou relógio atômico)

## PCM30

O sistema multiplex PCM 30 foi o primeiro passo para digitalização das redes no Brasil. Este sistema permitia que até 30 chamadas telefônicas pudessem ser transmitidas simultaneamente por dois pares de linhas metálicas por até 80km com repetidores a cada 2km. Sistemas analógicos utilizavam de um a três pares metálicos por chamada.

Nos sistemas PCM 30, os sinais analógicos de telefonia são amostrado a um taxa de 8000/s. Cada amostra de voz é digitalizada gerando um octeto usando a codificação PCM G.711. Portanto, cada

canal de voz transmite 8000 octetos/s ou 64kbps. O tempo entre amostras é 125 us (1/8000). 30 canais de 64 kbps são multiplexados no tempo e transmitidos.

A transmissão do PCM30 possui 32 slots de tempo (intervalos). Eles são numerados de 0 a 31. Durante cada slot o sistema transmite um octeto a uma taxa de 2 Mbps. O intervalo de tempo entre o início da transmissão do slot 0 e o fim da transmissão do slot 31 é chamado de quadro. Os slots 1 a 15 e 17 a 31 são usados para transmitir canais digitais de 64 kbps mencionados anteriormente. São portanto 30 canais de voz. Os slots 0 e 16 são usados para sincronismo e sinalização, respectivamente. Metade do octeto do slot 16 é usado para transmitir a sinalização associada a um dos slots de 1 a 15. A outra metade para os slots de 17 a 31. A sinalização identifica as fases de uma chamada telefônica (estabelecimento, conversação, desligamento). A cada quadro é transmitida a sinalização de dois slots. Para a sinalização de todos canais de voz será preciso um intervalo de 15 quadros. Um décimo sexto quadro será utilizado para sincronismo e sinalização de alarme. Portanto, para transmitir toda a informação de sinalização será preciso um período de 16 quadros, chamado de superquadro.

## Sistemas Plesiócronicos

A partir do sistema PCM foi criado um sistema hierárquico de multiplexadores denominado Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH). Há três versões desse sistema, o sistema japonês, o americano e o sistema europeu, adotado no Brasil.

No sistema europeu há quatro níveis. O primeiro nível é o sistema PCM 30 que transmite a 2Mbps. Ele recebe a identificação E1. Quatro sistemas E1 podem ser multiplexados por um multiplex de segunda hierarquia que opera a 8Mbps denominado E2. No total são quatro níveis. Os sistemas E1 e E2 foram projetados para operar em cabos de pares metálicos. Os sistemas E3 e E4 foram projetados para operar em fibras ópticas.

## Multiplexação PDH

Vamos supor que numa determinada localidade há um sistema E1 que precisa ser transportado pela rede PDH. Nessa localidade há um cabo óptico que é usado por um sistema PDH E4 a 140 Mbps. Para interligar o sistema E1 é preciso instalar na localidade dois sistemas mux/demux de quarta hierarquia, mais dois de terceira e mais dois de segunda hierarquia. É feita uma demultiplexação sucessiva até o ponto em que é retirado o enlace E1. Do lado da transmissão é feita uma multiplexação sucessiva. Este processo é uma consequência dos sistemas PDH realizarem a multiplexação bit a bit e que os tributários operam sem sincronismo. Os sistemas PDH não previam a existência de um sistema de gerência. Para interligar o sistema E1 era preciso realizar a tarefa manualmente nas duas localidades de interligação. O sistema não era escalável. Com a evolução das redes digitais, o PDH perdeu rapidamente espaço para as redes SDH.

## SDH

O SDH e sua versão americana SONET são tecnologias de rede WAN para transmissão digital. Permitem a multiplexação de canais digitais de hierarquias inferiores (tributários) em agregados de hierarquia superior. Desta forma, otimizam a utilização das fibras ópticas e enlaces de rádio.

Criada pelo ITU-T em 1988 é baseado no padrão americano SONET (Synchronous Optical Network). É uma rede de transporte óptica, que pode utilizar rádio digital na hierarquia inferior (STM-1). STM é o acrônimo de Synchronous Transport Modules, é o nome dado aos quadros SDH.

O SDH tem as seguintes vantagens sobre PDH

Interconexão óptica entre operadoras.

Inserção e extração do sinal em apenas um estágio.

Gerência de rede centralizada.

Confiabilidade

## Hierárquias SDH

| Hierarquia | Taxa     | E1(2Mbps) | Optical Carrier |
|------------|----------|-----------|-----------------|
| STM 1      | 155 Mbps | 63        | OC-3(3 STS1)    |
| STM 4      | 622 Mbps | 252       | OC-12           |
| STM 16     | 2,5 Gbps | 1008      | OC-48           |
| STM 64     | 10 Gbps  | 4032      | OC-192          |
| STM 256    | 40 Gbps  | 16128     | OC-768          |

## Tributários SDH

A rede SDH foi projetada inicialmente para receber tributários da tecnologia PDH. O tributário mais comum é o tronco digital E1 de 2Mbps, que recebe a nomenclatura C12 no SDH. Mais adiante abordaremos o caso de tributários Ethernet.

Vamos supor que numa cidade haja estações rádio base da rede celular, que devem ser interligadas a uma central por troncos digitais E1. Nos locais onde há fibras ópticas, podemos instalar um multiplex SDH conectado à rede SDH pelas fibras (agregado), e ligar todos troncos E1 da localidade como tributários do multiplex. Na tecnologia PDH a interconexão dos tributários E1 precisa ser no nível hierárquico imediatamente superior. Na rede SDH o equipamento multiplex pode ser de qualquer hierarquia. No exemplo da rede celular, seria possível ter um multiplex STM-1 com até 63 tributários E1 ou um STM 4 com até 252 tributários E1.

## Modelo de Referência

No modelo de referência temos dois elementos: multiplexadores e regeneradores. O caminho percorrido pelo tráfego dos tributários (Path) é segmentado em seções multiplex que correspondem a um enlace entre dois multiplexadores. Este enlace pode ter regeneradores (mais de um) ou não. Cada trecho do enlace entre regeneradores é chamada de seção de regenerador. Todos equipamentos da rede, inclusive regeneradores, são monitorados em tempo real pelo centro de gerência da rede.

## Estrutura do quadro SDH

Um quadro SDH é chamado de Módulo de Transmissão Síncrona (STM).

O tempo de transmissão de um quadro é 125  $\mu$ s, exatamente o mesmo do quadro dos sistemas E1.

O quadro consiste em 2430 octetos organizados em 9 linhas de 270 octetos cada. Um único octeto em um quadro SDH corresponde a um canal de 64 kbps (um octeto a cada 125  $\mu$ s ou 8000 octetos por segundo).

O quadro possui um cabeçalho chamado de Overhead. O restante do quadro é chamado de unidade administrativa.

## SDH Section Overhead (SOH)

72 octetos de cada quadro STM-1 são reservados para diversas finalidades de gerenciamento e monitoramento. O SOH é dividido em regenerator section overhead (RSOH) and multiplex section overhead (MSOH). Cada uma possui octetos de informação referente a uma seção multiplex ou uma seção de regenerador.

### Regenerator Section Overhead Bytes

| Byte  | Descrição                                |
|-------|--|
| A1-A2 | Alinhamento (padrão fixo)                |
| C1    | Indicador de conectividade de caminho    |
| B1    | Monitoramento de erro por paridade BIP-8 |
| E1    | Canal de Serviço da Seção de Regenerador |
| F1    | Canal de Usuário da Seção de Regenerador |
| D1-D3 | Canal de Dados da Seção de Regenerador   |

### Multiplex Section Overhead Bytes

| Byte   | Descrição                                   |
|--------|---|
| H1-H2  | Ponteiro para o POH dentro de um VC-4       |
| Y      | Bytes fixos 1001SS11                        |
| 1      | Bytes fixos 11111111                        |
| H3     | Ponteiros de Justificação Negativa          |
| B2     | Monitoramento de erro por paridade BIP-24xN |
| K1-K2  | APS - Proteção automática                   |
| D4-D12 | Canal de comunicação de dados               |
| S1     | Nível de sincronismo                        |
| M1     | MS FEBE (contagem dos erros BIP-24xN)       |
| E2     | Canal de Serviço                            |

## Multiplexagem

Todos octetos recebidos dos tributários precisam ser adequadamente multiplexados para que possam ser transmitidos nos quadros STM. Há várias formas de fazer isto, dependendo de quais são

os tributários. Vamos supor que desejamos conectar alguns troncos E1 entre os pontos A e B da rede. Os troncos E1 são conectados ao multiplex SDH. Cada conexão E1 dá origem a um container C12, que corresponde 32 octetos (um quadro E1). A estes octetos é acrescido um cabeçalho POH e este conjunto é denominado VC12. Cada VC12 dá origem a uma TU-12 quando são introduzidos os Ponteiros da TU (Mais para frente explicamos esta questão de ponteiros). 3 Unidades TU-12 podem ser concatenadas dando origem ao grupo TUG-2. 7 TUG-2 formam um Grupo TUG-3. 3 grupos TUG-3 formam um container virtual VC-4. Um VC-4 pode conter até  $3 \times 7 \times 3 = 63$  containers C12.

AU Administrative Unit - AUG Administrative Unit Group – TU Tributary Unit – TUG Tributary Unit Group

## Operações

Alinhamento - Atribuição de um ponteiro, a um TU ou AU, para identificar o byte inicial do VC.

Multiplexagem - Concatenação de múltiplas unidades.

Mapeamento - Criação do VC pela adição do path overhead (POH) e bytes de justificação.

Stuffing - Bytes fixos adicionados para acomodar bytes excedentes (justificação).

Por exemplo:

Mapeamento - Um C-12 (32 octetos) recebe um cabeçalho POH dá origem a um VC12

Alinhamento e justificação – Os campos do ponteiro e justificação do VC12 são preenchidos dando origem ao TU-12.

Multiplexagem – 3 TU-12 concatenados dão origem a um TUG 2.

As operações de alinhamento são necessárias por que o sistema é síncrono, mas devido aos tempos de propagação, os sinais recebidos de diferentes multiplexadores está fora de fase. As operações de stuffing são necessárias por que os tributários não estão em sincronismo. Um tronco E1, por exemplo, pode operar a uma taxa um pouco superior à taxa nominal de 2Mbps. Isto implica que num intervalo de 125 us serão transmitidos mais que 32 octetos. O SDH possui um espaço extra no quadro para acomodar os bits que ultrapassarem os 32 octetos.

## STM-1 contendo um C-4

A carga útil real transportada em um quadro STM-1 é encapsulada numa unidade (AU-4). O AU-4 consiste num VC-4 composto por 261 colunas. Há, no cabeçalho do STM-1, um ponteiro que aponta para o primeiro octeto da carga útil VC-4. O mecanismo do ponteiro SDH é uma maneira de multiplexar vários containers sem a necessidade de alinhamento a um início de quadro comum. Assim, os buffers de quadro nos equipamentos de multiplexação SDH podem ser mantidos pequenos e o atraso de transmissão devido ao buffer é minimizado. O VC-4 pode flutuar livremente dentro do AU-4. O octetos H1 e H2 formam uma palavra de dois octetos que podem assumir valores de 0 a 782, indicando o deslocamento, em três octetos, entre o ponteiro e o primeiro byte do VC-4. Se o deslocamento for 0, o primeiro octeto do VC-4 (octeto J1) segue imediatamente após os octetos de H3.

Neste exemplo o VC-4 simplesmente contém um C4.

## STM-1 contendo 3 x C-3

Neste exemplo o VC-4 é formado por 3 TUG-3 e duas colunas de octetos de justificação. Cada TUG-3 é formado por uma coluna com ponteiros H1, H2 e H3 e octetos de justificação, seguida do VC3. Os VC3 são formados por uma coluna POH e o payload do C3.

## STM-1 contendo 63 x C-12

Este exemplo utiliza os 3 TUG-3 do cenário anterior. Cada TUG-3 contém 7 TUG-2 Concatenados. Cada TUG-2 contém um campo de ponteiros do TU-12 e 3 VC-12.

## Justificação

Quando tributários operam em taxas diferentes da frequência do quadro STM, haverá um escorregamento entre o VC e o STM. Ou seja, o primeiro octeto do VC estará continuamente mudando de posição em relação ao quadro STM. Se a taxa é diferente, o tributário irá produzir mais bits por segundo ou menos bits por segundo do que a taxa de transmissão do quadro STM. Todo momento em que a diferença totalizar um octeto haverá o processo de justificação.

Quando a taxa de dados de um VC é muito lenta em relação à taxa do quadro STM-1, haverá momentos em que faltará um octeto para ser transmitido num quadro SDH.

Nestes momentos os bits 7, 9, 11, 13 e 15 dos ponteiros H1 H2 são invertidos, sinalizando a necessidade de inserir um octeto de stuffing. O byte é inserido no VC e o ponteiro que identifica o início de quadro é atualizado.

Quando a taxa de dados do VC é muito rápida em relação à taxa do quadro STM-1, haverá momentos em que será preciso transmitir um octeto a mais num quadro SDH.

Nestes momentos os bits 8, 10, 12, 14 e 16 dos ponteiros H1 H2 são invertidos, sinalizando a necessidade de uma justificação negativa. O octeto extra é transportado no campo H3.

As justificações devem respeitar o intervalo mínimo de três quadros para que ocorra uma nova justificação.

## SDH x Ethernet

E se o tributário for um link Ethernet? Uma alternativa é utilizar os containers padrão do SDH. Uma porta Ethernet de 10 Mbps pode ser transportado como um C3, uma porta de 100 Mbps pode ser transportado como container C4 e uma porta Gigabit Ethernet pode utilizar um STM-16. Nenhuma dessas opções é eficiente, porque as taxas Ethernet não são múltiplas das taxas SDH.

## Adaptações para IP over SDH

Para tentar tornar a rede SDH mais amigável ao tráfego IP foram criadas duas adaptações:

Concatenação Contínua - Vários containers virtuais são concatenados como uma unidade. Este tipo de concatenação pode ser empregada para ATM over SDH. Há um problema de fragmentação. A

rede SDH não é estática. A todo momento, tributários são conectados e desconectados da rede. Conforme este processo acontece, cada vez mais haverá containers disponíveis mas não contíguos, que portanto não podem ser utilizados para a concatenação contínua.

Concatenação Virtual - Grupo de concatenação virtual. Containers são transportados individualmente (caminhos diferentes) e remontados no destino. É uma solução transparente para os nós intermediários. Resulta numa boa granularidade de taxas. Foi criado o protocolo Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS). O protocolo permite incluir e remover unidirecionalmente containers do grupo. O Protocolo permite gerenciar o grupo em tempo real possibilitando proteção em caso de falha da rede e repartição de carga por diferentes caminhos.

## Gigabit Ethernet com VC-4-7v

Um exemplo de uso da concatenação virtual é a criação de um container VC-4-7v, que concatena 7 containers VC-4 para transportar um tráfego Gigabit Ethernet. Um VC-4 transporta a uma taxa de 149,76Mbps, 7 x VC-4 transporta a uma taxa 1048 Mbps, quase exatamente 1Gbps.

## Equipamentos SDH

Os nós da rede SDH podem ser de três tipos diferentes

Terminal

- Multiplexação dos tributários num enlace SDH com ou sem proteção. Utilizado nos extremos de uma cadeia. Se conecta a um único multiplexador.

ADM - Add Drop Multiplex

- Insere e retira tributários e é interconectado a dois outros multiplexadores. Utilizado na Topologia de Anel e Cadeia.

Cross Connect

- Insere e retira tributários de vários enlaces SDH. Utilizado para interconexão de vários anéis SDH. Neste caso, o reencaminhamento do tráfego em caso de falha pode ser lento.

## Topologia SDH

Sistemas SDH podem ser usado:

em ligações ponto-a-ponto,

em cadeias, no caso em que há uma sequência de nós ADM terminada por um

em anéis, formados por nós ADM.

Em todos os casos é possível empregar fibras redundantes para proteção em caso de falhas. A topologia em anéis deve ser preferida porque quase sempre permite que os cabos de cada segmento do anel estejam em pontos geograficamente distintos. Mas isso nem sempre é possível. Por exemplo, uma ilha pode estar ligada ao continente por uma ponte. Na ilha há um nó ADM. A interligação deste nó ADM só pode ser feita pelo cabo óptico que passa pela ponte. Um acidente na ponte, que cause uma falha, impedirá que a proteção em anel atue para manter o nó da rede operando.

## **Anéis de 2 ou 4 fibras**

Os sistemas SDH são interligados sempre por pares de fibras. A transmissão nas fibras do par é feita no sentido contrário de uma em relação à outra. É possível utilizar uma única fibra para transmitir nos dois sentidos. Mas estes sistemas não são de alto desempenho e não costumam ser empregados nas redes WAN.

Os anéis SDH podem ser interconectados por um ou dois pares de fibras.

## **Anel unidirecional ou bidirecional**

Há duas formas de rotear o tráfego pelos anéis associadas a duas formas de realizar a proteção do tráfego em caso de falha de um segmento do anel.

Unidirectional path-switched ring (UPSR) ou Subnetwork connection protection (SNCP)

Nos sistemas SDH os canais são sempre bidirecionais. Se um sistema é usado para transportar um troço E1 interligando o ponto A ao Ponto B, há 30 canais que transportam informação de A para B e mais 30 canais no sentido oposto.

No caso dos anéis unidirecionais uma mesma fibra transporta os canais de A para B e de B para A. No trecho do anel em que a transmissão é no sentido A para B, são transportados os canais com origem em A com destino B. No trecho em que a transmissão ocorre no sentido B para A, são transportados os canais com origem em B e com destino A. Na outra fibra do par a transmissão é feita no sentido oposto, e tudo é feito de forma inversa. Dessa forma o ponto B recebe duas cópias dos canais de A. Uma cópia vem por uma fibra do par e a outra cópia pela fibra do par que transmite na direção oposta da primeira. Se houver falha num segmento do anel, uma cópia deixa de ser recebida. O nó B utiliza a outra cópia e o sistema está protegido.

Bidirectional line-switched rings (BLSR) ou Multiplex section shared protection ring (MS-SPRing)

Nos anéis bidirecionais, utiliza-se metade da capacidade do sistema. A outra metade fica reservada para o caso de falha. Tomando o exemplo do sistema E1 entre A e B, no caso dos anéis bidirecionais, os canais de A para B são transmitidos num trecho de uma fibra e os canais de B para A são transmitidos no mesmo trecho da outra fibra do par. Em caso de falha, a capacidade reservada do anel é usada para transportar o tráfego pelo percurso complementar do anel, não afetado pela falha.

O esquema de anel unidirecional é empregado nos cenários em que a comunicação ocorre entre um dado nó da rede com os outros nós. Por exemplo, quando várias estações rádio base de uma rede

celular são ligados a um único ponto onde está interligada à central. Outros cenários de emprego do esquema são aqueles em que a distância percorrida pelo anel é muito grande. Por exemplo, um anel que interligue Fortaleza, Luanda e Miami. Neste caso o tempo de atuação da proteção nos anéis unidirecionais não é tão afetado pelos atrasos de propagação do sinal nas fibras.

O esquema de anel bidirecional é mais vantajoso quando o tráfego entre os nós da rede é equilibrado. Por exemplo, um anel entre São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Neste contexto os anéis bidirecionais permitem transportar um volume maior de tráfego do que os anéis unidirecionais.