

## Artigo nº 1

### Redes Modo Circuito: Visão Geral e Multiplexação

Pretendo escrever uma série de pequenos artigos sobre redes de telecomunicações.

Vamos começar com artigos estabelecendo alguns conceitos fundamentais, para a seguir abordar mais especificamente as diferentes tecnologias.

O assunto abordado neste primeiro artigo são as **redes modo circuito** em uma visão geral, falando também sobre **multiplexação por divisão de espaço** e a **multiplexação por divisão de tempo** que ocorrem nessas redes.

No próximo artigo finalizaremos a abordagem desse tipo de rede, apresentando a comutação no modo circuito (*circuit switching*).

#### 1 – VISÃO GERAL

As redes de telecomunicações podem ser classificadas de diversos modos, que serão de alguma forma apresentados ao longo de nossos artigos.

Vamos iniciar pela seguinte classificação:

- **Redes modo circuito;**
- **Redes modo pacote;**
- **Redes modo mensagem.**

Nos limitaremos aos dois primeiros tipos, uma vez que as redes modo mensagem estão hoje em desuso.

As redes modo circuito se caracterizam pela alocação fixa e determinística do circuito a um dado usuário. É como se fosse uma estrada para uso particular de uma pessoa.

Após a obtenção de um circuito, de sua propriedade ou por ele alugado de um provedor, o usuário passa a utilizar com exclusividade esse circuito.

É óbvio que isso é vantajoso para as aplicações isócronas, como voz e vídeo, que sofrem com grandes delays e, principalmente, com variações de delays, que ocorrem tipicamente nas redes modo pacote.

A grande desvantagem das redes modo circuito é o custo elevado para tráfego intermitente e de baixo volume, onde a solução mais indicada são as redes modo pacote, por operar com compartilhamento dos recursos das redes.

No modo circuito, os circuitos são referidos como **circuitos reais**, que podem ser de natureza espacial (física) ou temporal.

As redes modo circuito são sempre orientadas a conexão, uma vez que operam exclusivamente por meio de circuitos reais, que são uma forma de conexão. As redes modo pacote, por outro lado, podem operar por meio de circuitos virtuais ou podem ser redes sem conexão.

Um circuito real pode ser obtido das seguintes formas:

- Circuito real consistindo em um meio de transmissão exclusivo (linhas físicas, cabos coaxiais, cabos ópticos, enlaces de rádio, etc...);
- Circuito real obtido por **comutação por divisão espacial** (*space division switching*) ou por **comutação por divisão temporal** (*time division switching*).

## 1.1 – Multiplexação no Modo Circuito

Multiplexar é separar um certo número de canais em um mesmo meio de transmissão.

A multiplexação inicia em um dispositivo multiplexador, que combina os canais, e termina em um dispositivo demultiplexador, que separa os canais.

Como se verifica, a multiplexação é um processo unidirecional. Para se obter a multiplexação bidirecional, é necessária a utilização de dois sistemas de multiplexação iguais operando em sentidos inversos. Podem existir, contudo, sistemas de multiplexação bidirecionais, onde o multiplexador e o demultiplexador coexistem em um mesmo dispositivo.

### 1.1.1.1 – Multiplexação por Divisão de Espaço

São exemplos de multiplexação de circuitos por divisão de espaço os sistemas FDM (*frequency division multiplexing*) e os sistemas WDM (*wavelength division multiplexing*).

#### 1.1.1.1 – Sistemas FDM

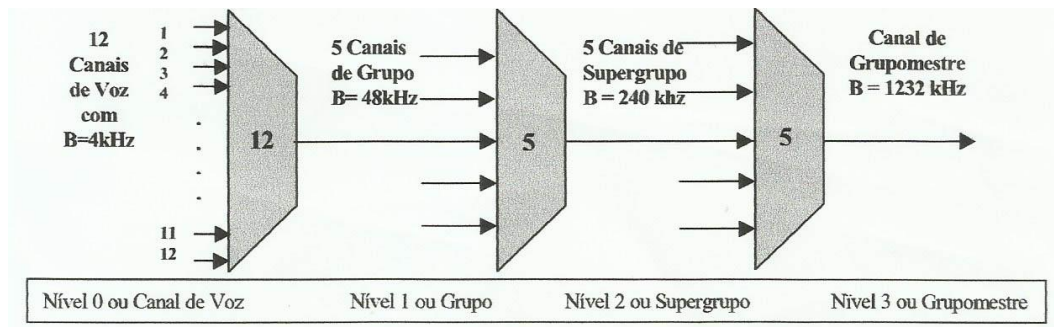
No FDM, uma faixa de frequências é literalmente cortada em faixas, faixas essas que vão constituir os canais multiplexados. Uma frequência intermediária em uma faixa constitui-se no sinal portador nessa faixa, sobre o qual são modulados os sinais transmitidos.

Um sistema FDM pode operar isoladamente ou pode ser constituída uma sucessão hierarquizada de sistemas FDM.

A estrutura definida para a sucessão hierarquizada de sistemas FDM para a telefonia, estrutura essa utilizada, por exemplo, em sistemas de microondas de alta capacidade, constitui-se de cinco níveis:

- Nível 0 ou nível de canal de voz;
- Nível 1 ou nível de grupo (12 canais de voz);
- Nível 2 ou nível de supergrupo (5 grupos ou 60 canais de voz);
- Nível 3 ou nível de grupo mestre (5 supergrupos ou 300 canais de voz);
- Nível 4 ou nível de supergrupo mestre (3 grupos mestres ou 900 canais de voz).

Para transmitir um grupo mestre, por exemplo, é necessária uma faixa de frequências de 1.232 KHz, como mostra a figura abaixo.



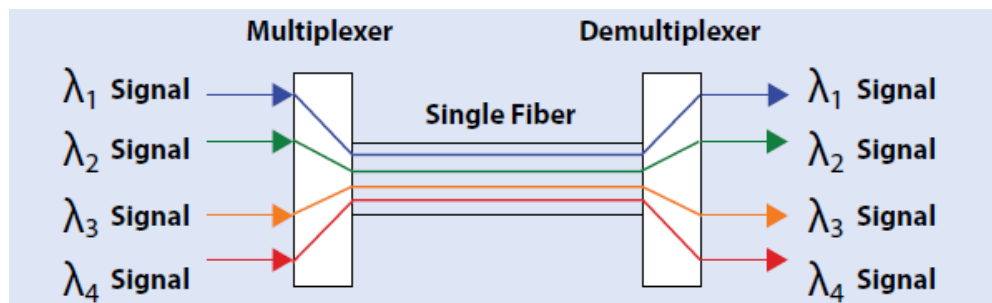
Sistema FDM para telefonia em nível de grupo mestre.

### 1.1.1.2 –Sistemas WDM

Os sistemas WDM (*wavelength division multiplexing*) multiplexam espacialmente comprimentos de onda, tipicamente em sinais transmitidos por fibras ópticas, sendo hoje amplamente utilizados. Um canal de um sistema WDM é utilizado, por exemplo, como suporte à rede SDH e à rede OTN.

Um comprimento de onda, que é a distância percorrida pela luz durante o tempo correspondente a um período  $T$  (inverso da frequência) de um sinal, é comumente referido como  $\lambda$  (*lambda*).

A figura abaixo representa um sistema WDM, com a multiplexação de quatro comprimentos de onda ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$  e  $\lambda_4$ ) em uma fibra óptica.



Exemplo de WDM

Como se observa nessa figura o WDM opera de forma unidirecional (do multiplexador para o demultiplexador). Para a operação bidirecional, é necessário um outro WDM equivalente no sentido inverso, provavelmente utilizando uma outra fibra óptica.

Um sistema WDM pode ser um DWDM (*Dense WDM*) ou CWDM (*Coarse WDM*).

A figura acima representa tipicamente um CWDM, pelo pequeno número de  $\lambda$ s multiplexados.

### 1.1.2–Multiplexação por Divisão de Tempo

A multiplexação modo circuito por divisão de tempo ocorre em uma única faixa de frequências, onde é transmitido um único sinal digital aglomerado. Esse sinal

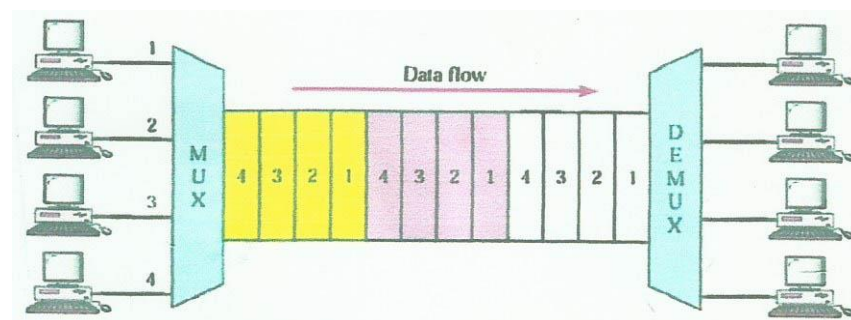
aglomerado é dividido em múltiplas janelas iguais e sequenciadas de tempo, que são referidas como *time-slots*.

Os sinais de cada canal multiplexado, quando existentes, são inseridos periodicamente em um determinado *time-slot*. Quando não existe sinais a enviar, o *time-slot* é transmitido vazio.

A multiplexação de circuitos por divisão de tempo materializa-se por sistemas TDM (*time division multiplexing*).

O TDM goza hoje da maior importância, devido ao seu uso em PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*), em SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) e em OTN (*Optical Transport Network*).

A figura abaixo exhibe um sistema TDM com a multiplexação de quatro *time-slots* em um link de transmissão unidirecional.



Exemplo de TDM

Essa figura evidencia o compartilhamento sequencial temporal do meio de transmissão pelos quatro *time-slots*.

Apresentamos, a seguir, dois exemplos de multiplexação por divisão de tempo:

- Sistemas PCM30;
- Sistemas SDH.

#### 1.1.2.1 - Sistemas PCM30

Um importante exemplo de multiplexação por divisão de tempo são os sistemas PCM 30, definidos no Brasil pela Telebrás, que são utilizados, em essência, para a transmissão de sinais analógicos de voz digitalizados em canais de 64 Kbps.

PCM significa *Pulse Code Modulation*, utilizando-se no Brasil a sigla MCP (Modulação por Codificação de Pulsos).

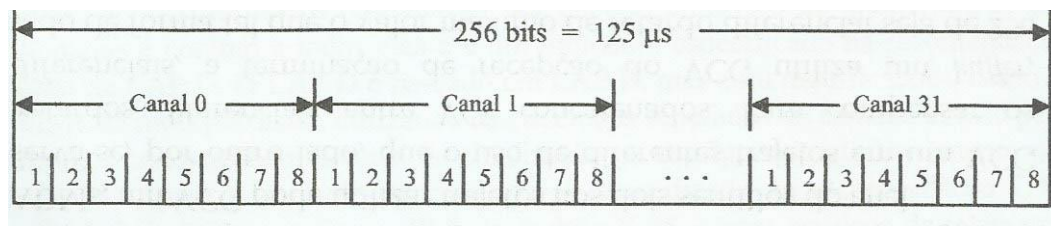
No PCM, um sinal analógico de voz é amostrado a cada 125  $\mu$ s, o que representa 8.000 amostras por segundo.

A amplitude do sinal analógico em cada uma dessas amostras é codificada em 8 bits. Assim, resulta um sinal digital de 64 Kbps (8 bits x 8.000).

São constituídos então quadros sucessivos com 2.048 Kbps, pela multiplexação por divisão de tempo de 32 canais de 64 Kbps (32x64 = 2.048). Esse processo é denominado sistema PCM30.

Cada um dos quadros de 2.048 Kbps é referido como um quadro E1, que se constitui em um tributário direto do SDH.

A figura abaixo apresenta a estrutura de um quadro E1.



**Estrutura de um quadro E1**

No quadro da figura acima, com 32 canais de 64 Kbps, 30 canais são utilizados para informações (daí a denominação PCM30), enquanto dois canais têm função de controle.

O canal 0 é utilizado para o alinhamento de quadros, enquanto o canal 16 é utilizado para sinalização.

Quatros sistemas E1, com 2,048 Mbps, multiplexados formam um E2, com 8,448 Mbps (os sistemas E2 não são tributários diretos do SDH). Quatro sistemas E2 formam um E3, com 34,368 Mbps, e quatro sistemas E3 formam um E4, com 139, 264 Mbps. As diferenças entre esses valores de velocidade e a simples multiplicação de velocidades por quatro, são devidas ao overhead necessário para as multiplexações.

Os sistemas E3 e E4, assim como os sistemas E1, são tributários diretos do SDH.

Os canais de 64 Kbps do PCM30, em princípio destinados à transmissão de sinais analógicos de voz digitalizados, podem também transmitir quadros de dados. O aglomerado E1, assim como os agregados dele resultantes por multiplexação, são utilizados para a transmissão de dados em aplicações que exigem taxas de vazão de tráfego com eles compatíveis.

### 1.1.2.2–Sistemas SDH

Um importante exemplo de multiplexação por divisão de tempo hierarquizada é a que ocorre no SDH.

No SDH, os terminais são inseridos em containeres (Cs), que repassam esses quadros para os containeres virtuais (VCs), de onde são encaminhados, multiplexados ou não, para os Módulos de Transmissão Síncrona (STMs).

Os STMs são os agregados de quadros que ingressam nos links de transmissão que suportam o SDH. Esses links são tipicamente canais OTN ou canais WDM.

Foram definidos os módulos STM-0 (51,840 Mbps), STM-1 (155,520 Mbps), STM-4 (622,080 Mbps), STM-16 (2.488,320 Mbps), STM-64 (9.953,280 Mbps) e STM-256 (39.813,120 Mbps).

Para a constituição de um STM-1, por exemplo, existem duas alternativas:

- Conexão direta de um VC-4;
- Multiplexação de três VCs-3.

Como outro exemplo, um VC-4 pode ser constituído pela conexão direta de um C-4, ou por diferentes combinações de multiplexação de VCs de ordem inferior.