

Multiplexação FDM

Multiplexação por Divisão de Frequência

- A multiplexação não é em si uma técnica de modulação de sinais, mas é frequentemente utilizada de forma complementar
- Possibilita o envio simultâneo de vários canais de informação através de um mesmo meio físico usando uma banda de frequência
- Amplamente utilizada de forma conjunta às modulações AM, FM, QAM, PSK
- Usada na comunicação de sinais analógicos e digitais

Multiplexação FDM

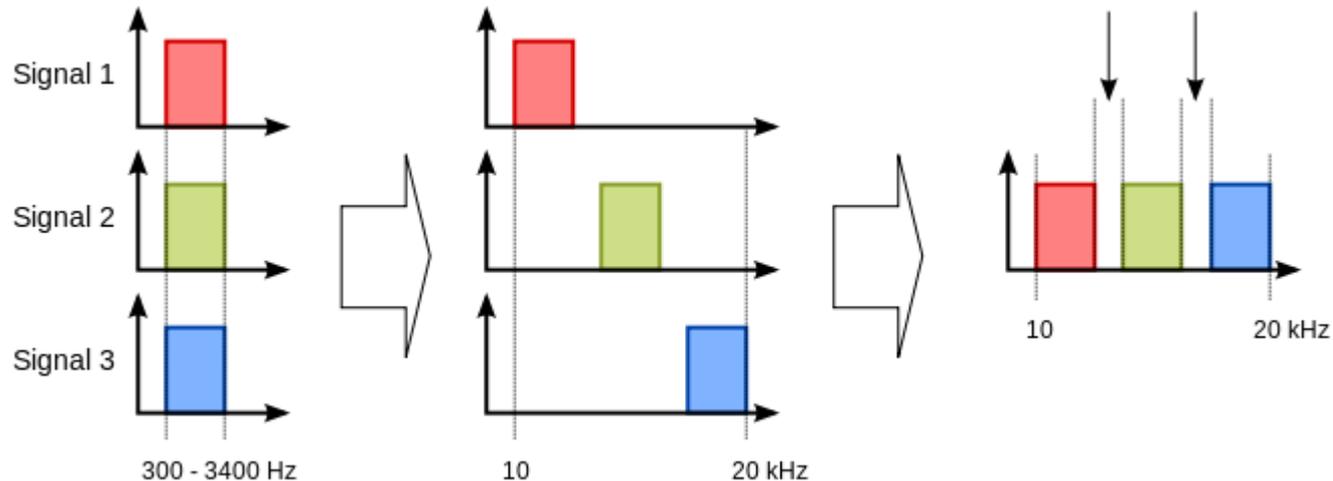


Aplicações:

- Telefonia analógica
- Telefonia digital
- FM Stereo
- WLAN
- ADSL
- TV a cabo

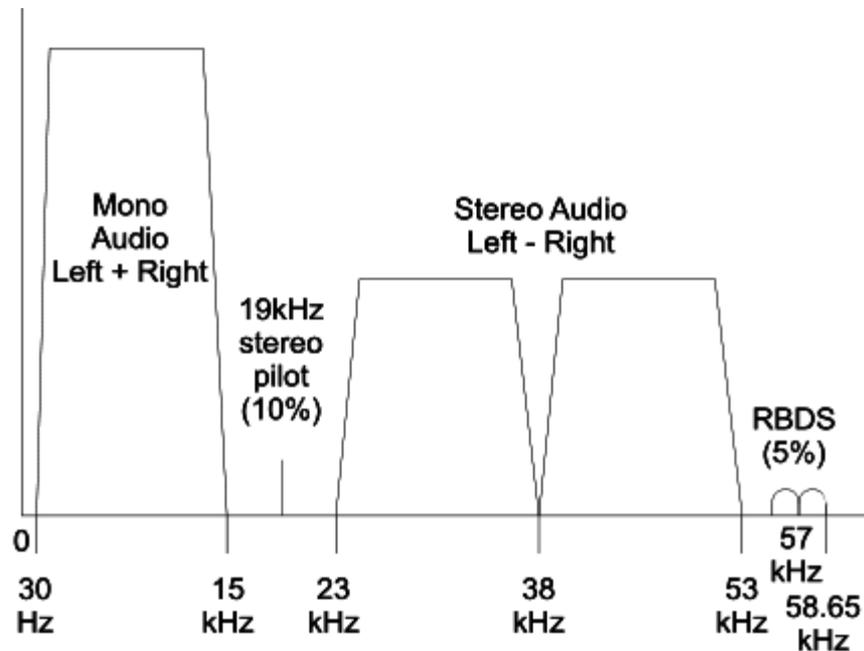
Multiplexação FDM

Telefonia analógica: Transmissão de vários canais de voz em um mesmo cabo (otimização do meio físico)



Multiplexação FDM

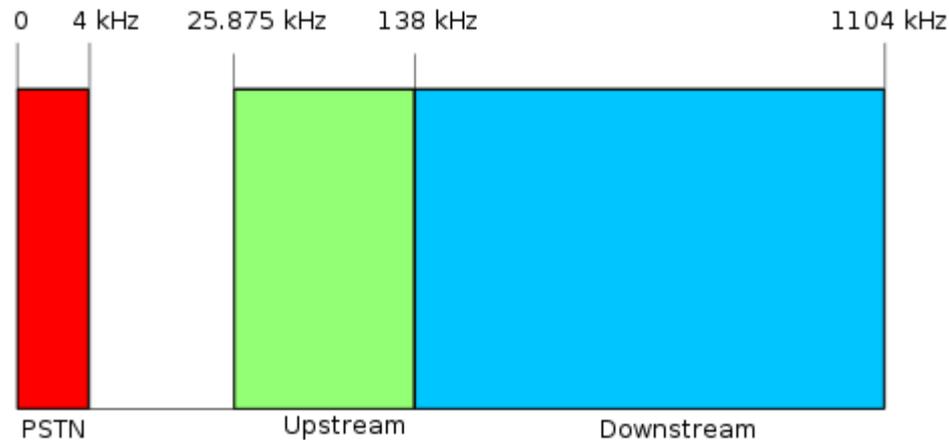
FM Stereo: Sinais de soma e diferença entre os canais em portadoras distintas



Multiplexação FDM

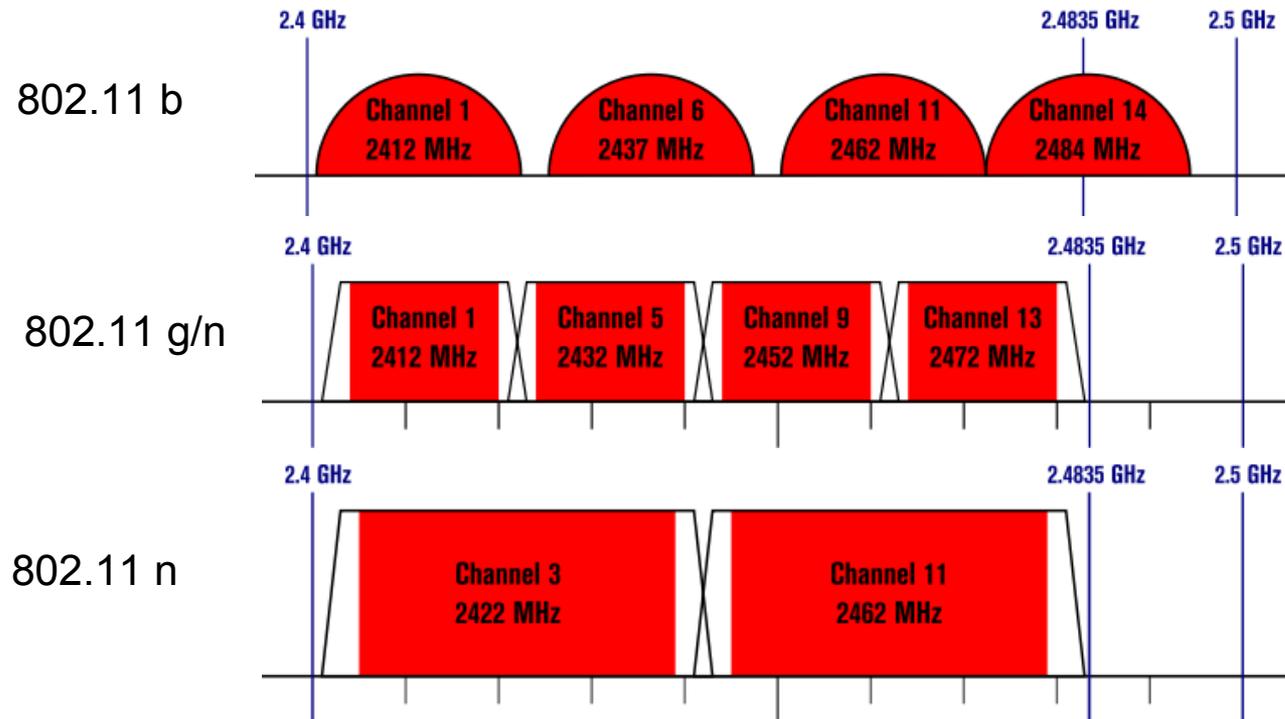
ADSL: Sinal de voz + dados

- Upstream: 110 kHz
- Downstream: 960 kHz



Multiplexação FDM

WLAN (IEEE 802.11): 14 canais designados para a faixa de 2,4 a 2,5 GHz espaçados de 5 MHz



Multiplexação FDM

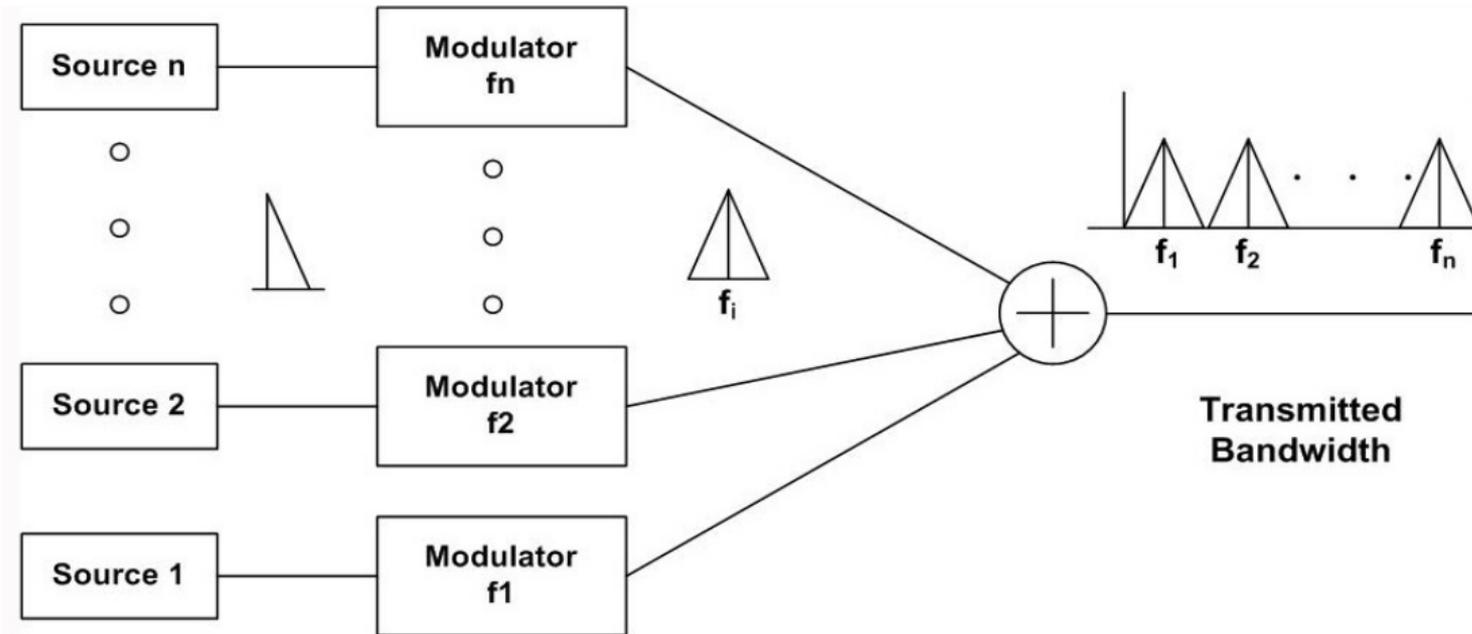
GSM: Sinal de voz + dados

- Canais espaçados de 200 kHz
- Alocação GSM no Brasil:
- GSM-850:
 - BW: 70 MHz
 - Uplink: 824–849 MHz (124 canais: 128 a 251)
 - Downlink: 869–894 MHz (124 canais: 128 a 251)
- GSM-1900:
 - BW: 140 MHz
 - Uplink: 1850–1910 MHz (299 canais: 512 a 810)
 - Downlink: 1930–1990 MHz (299 canais: 512 a 810)

Multiplexação FDM

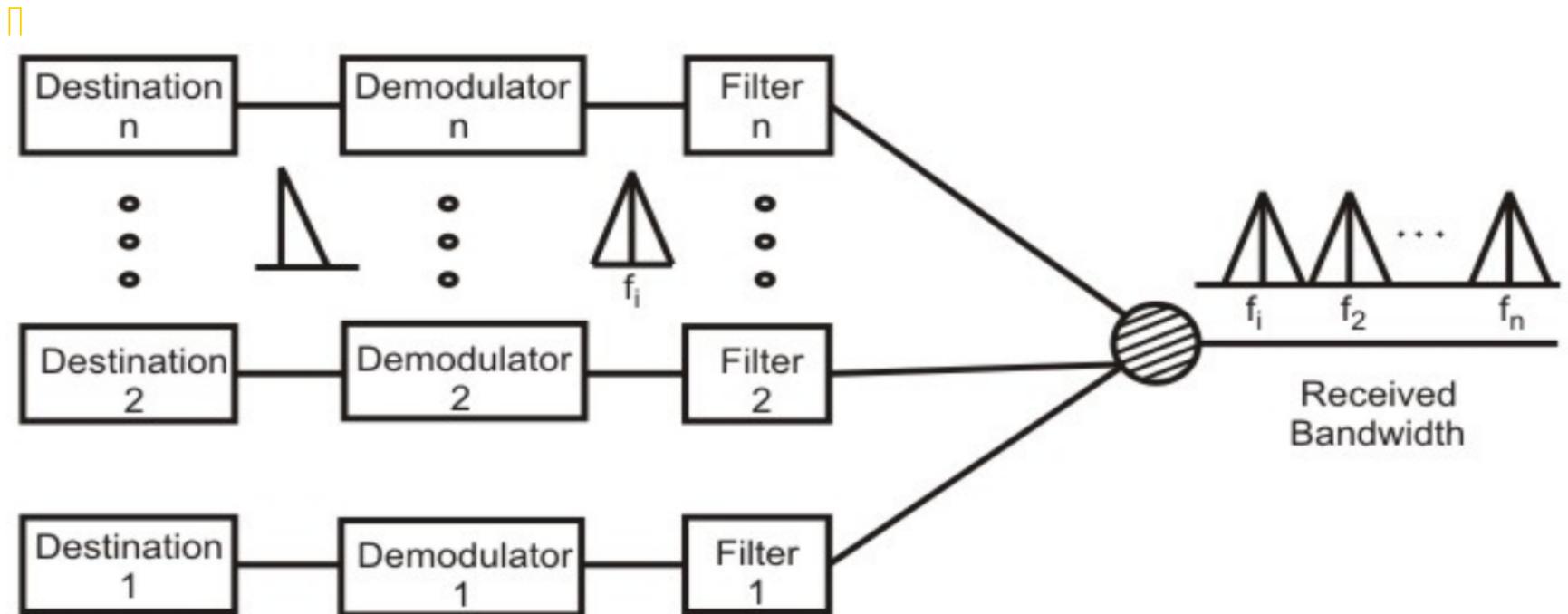
Diagrama em blocos do multiplexador:

□



Multiplexação FDM

Diagrama em blocos do demultiplexador:



Multiplexação FDM



Desvantagens:

- Interferência cruzada entre os canais adjacentes
- Necessidade de filtros de frequência altamente seletivos
- Distorção de fase nas bordas dos filtros causam erros

Multiplexação OFDM

Multiplexação por Divisão de Frequência Ortogonal

- Variante da FDM que minimiza a interferência entre canais adjacentes
- Possibilita um melhor aproveitamento do espectro (maior número de canais para mesma BW)
- Método de codificação de dados digitais em múltiplas frequências portadoras
- Usada na comunicação de sinais digitais

Multiplexação OFDM

Características:

- Os sinais de sub-portadoras são ortogonais entre si
- Interferência cruzada entre os canais adjacentes é eliminada
- faixas de guarda inter-portadoras não são necessárias
- maior aproveitamento espectral
- Menor complexidade no projeto do transmissor e receptor

Multiplexação OFDM

Critério de ortogonalidade:

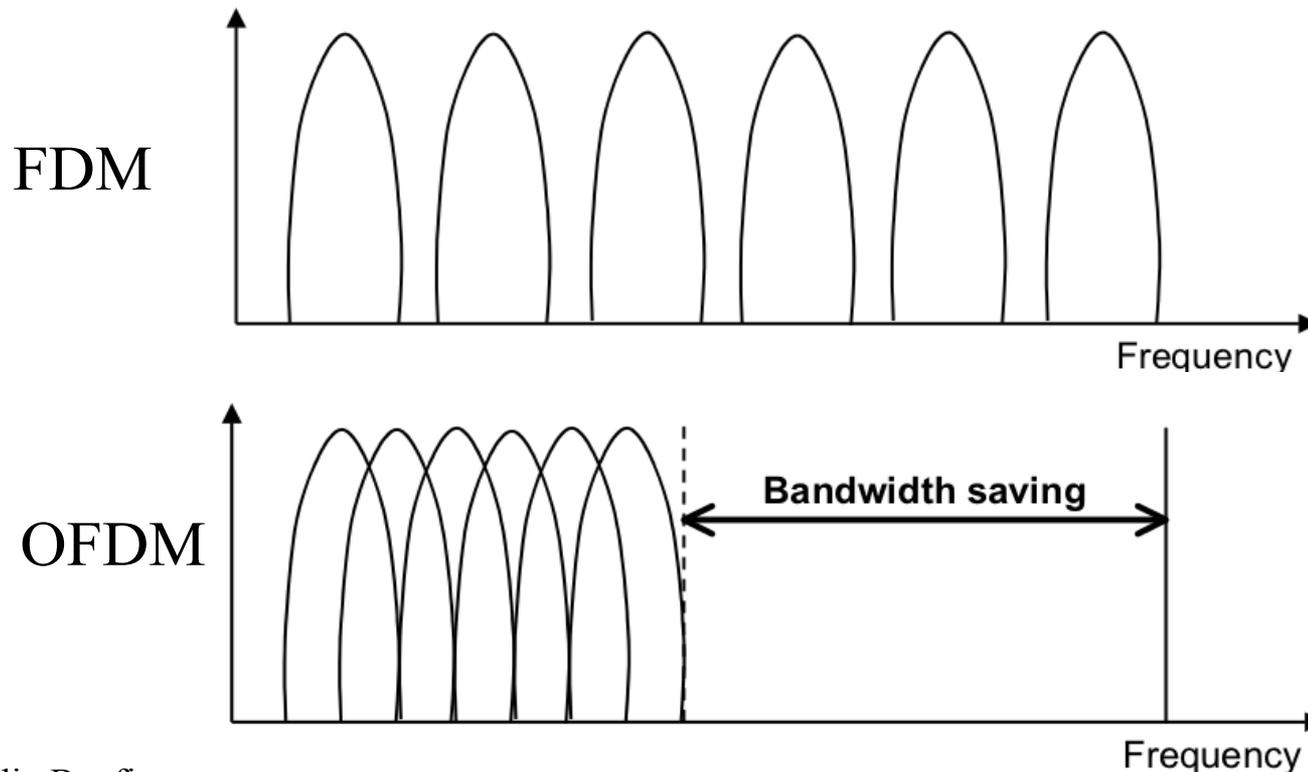
- O espaçamento entre as frequências das subportadoras deve ser:

$$\Delta f = \frac{k}{T_U}$$

- Onde:
 - T_U : duração temporal do símbolo útil
 - k : número inteiro positivo, tipicamente igual a 1

Multiplexação OFDM

Critério de ortogonalidade: pode haver sobreposição das bandas sem que haja interferência co-canal



Multiplexação OFDM

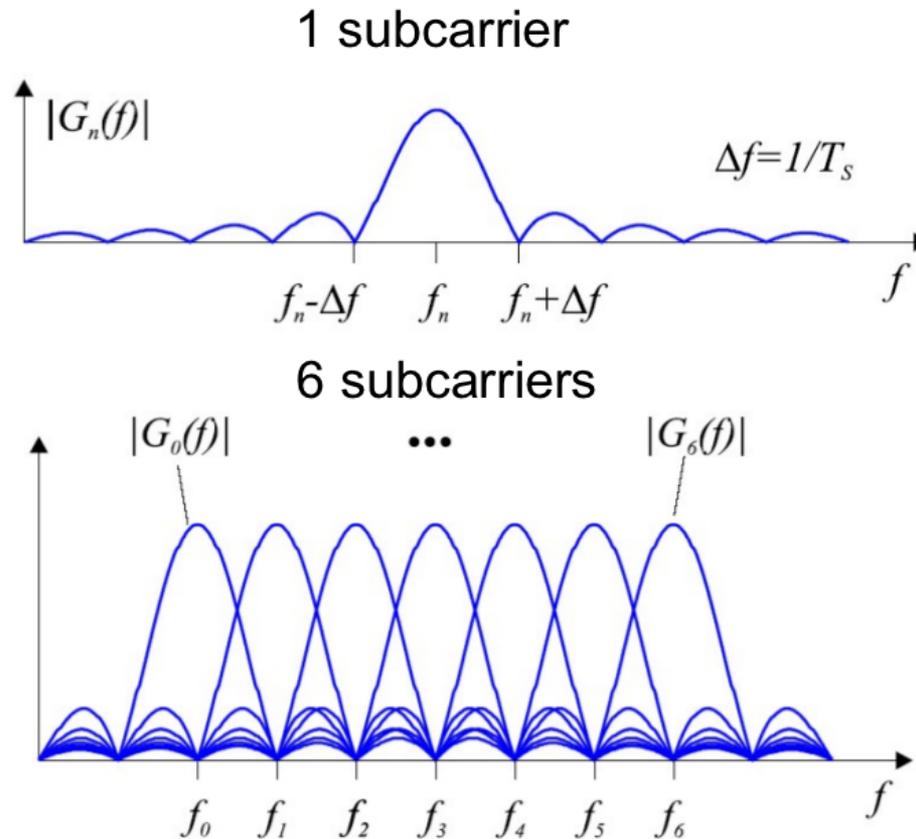


Critério de ortogonalidade:

- Num sistema OFDM a ortogonalidade entre as subportadoras é conseguida por meio de transformada de Fourier discreta (DFT)
- Medindo-se a intensidade de cada sub-portadora no seu máximo, obtém-se uma intensidade nula das outras sub-portadoras

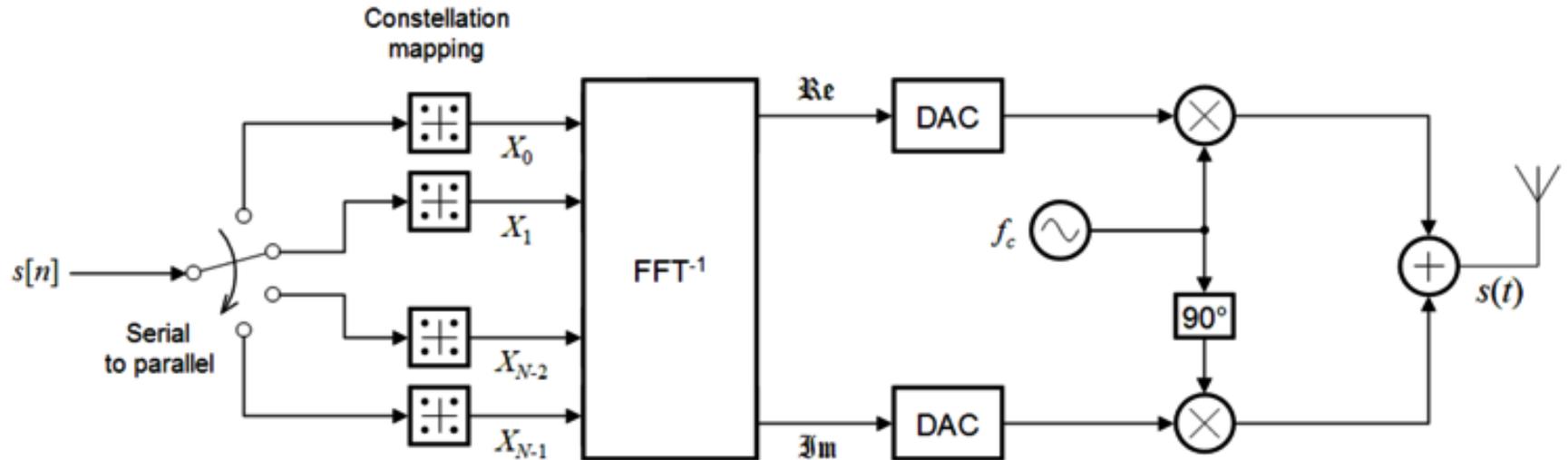
Multiplexação OFDM

□ DFT do sinal modulado recebido:



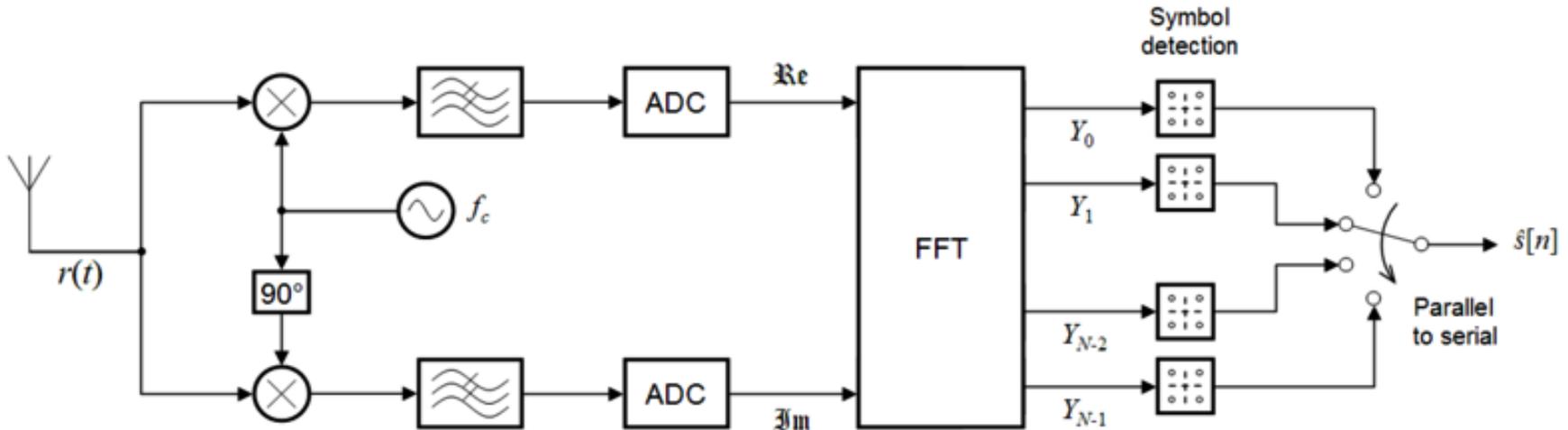
Multiplexação OFDM

Diagrama em blocos do transmissor:



Multiplexação OFDM

Diagrama em blocos do receptor:



Multiplexação OFDM

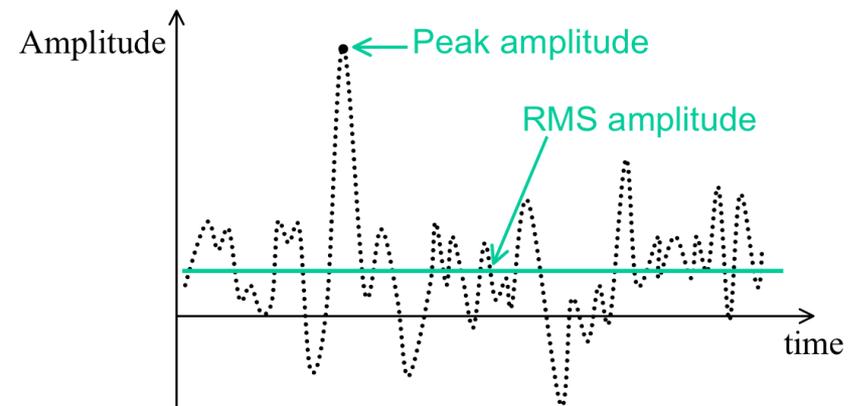
Critérios para um correto funcionamento:

- conversor digital-analógico (DAC) de alta resolução no transmissor (≥ 12 bits)
- Conversor analógico-digital (ADC) de alta resolução no receptor (≥ 12 bits)
- cadeia de sinal linear (baixa distorção)

Multiplexação OFDM

Principais desvantagens:

- Sensível ao efeito Doppler: não utilizada para comunicações móveis em alta velocidade
- Sensível a problemas de sincronização de frequência
- Alta relação de potência pico/média (PAPR)
- Necessidade de circuito transmissor linear: baixa eficiência energética



Multiplexação OFDM

Protocolo	DVB-T2	IEEE 802.11a
Separação de canal B (MHz)	1.7, 5, 6, 7, 8, 10	20
FFT size (k=1024)	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k	64
Modulação da sub-portadora	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
T_U (μ s)	112 - 3,584	3.2
Intervalo de guarda, T_G (fração de T_U)	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4	1/4
Espaçamento das sub-portadoras (Hz)	279 - 8,929	312.5K
Taxa de bits líquida, R (Mbit/s)	35.4	6–54
Eficiência espectral R/B (bit/s/Hz)	0.87-6.65	0.30–2.7

Modulação QAM

Exercício 4:

Seja um sinal do protocolo WLAN 802.11g, determine o número e a frequência das sub-portadoras quando o sistema está operando no canal 5.

Canal 5:

$$f_c = 2432 \text{ MHz}$$

$$BW = 20 \text{ MHz}$$

$$T_U = 3,2 \text{ us}$$

$$\Delta f = \frac{k}{T_U}$$