





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

Abordar alguns **conceitos básicos** referentes a:

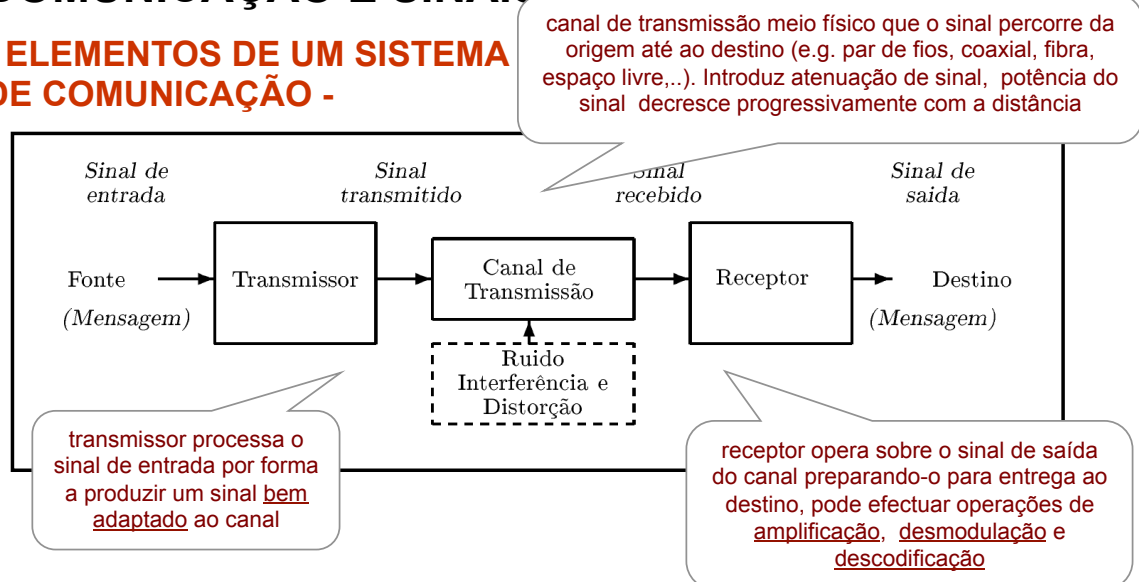
- **Sistemas de comunicação**
- **Sinais**
- **Limitações Fundamentais à transmissão**
- **Modulação e codificação**

capítulo 1 da sebenta  
+ alguns extras



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

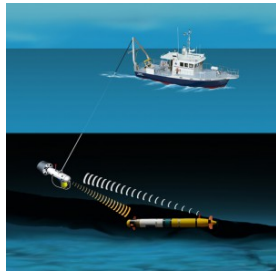
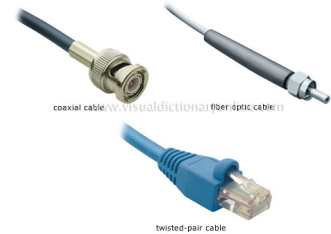
### - ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO -





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### Canal de transmissão:



3



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

**Canal de transmissão:** diferentes tipos de canais de transmissão possuem diferentes:

- **capacidades** de transmissão
- **atenuações** de sinal [problemas com as grandes distâncias?]
- **frequências** de operação
- necessidade/tipo de **equipamentos de interligação**
- níveis de **imunidade a ruído**
- **custos** \$\$
- robustez física, **dimensões**, etc.
- etc.

4



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### Tipos de transmissão:

- Transferência num só sentido (**simplex**)
- Transferência em ambos os sentidos mas não simultaneamente (**half-duplex**)
- Transferência simultânea em ambos os sentidos (**full-duplex**)

5



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - SINAIS DE COMUNICAÇÃO -

- Diferentes tipos de sinal tem diferentes formas de onda com **características próprias**
- Representação dos sinais no **domínio temporal** vs representação no **domínio das frequências**
- Todos os meios de transmissão possuem características próprias que **afectam os sinais**, por vezes torna-se necessário **modular os sinais** por forma a adapta-los ao meio de transmissão

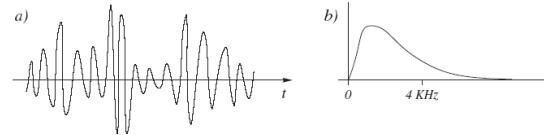
6



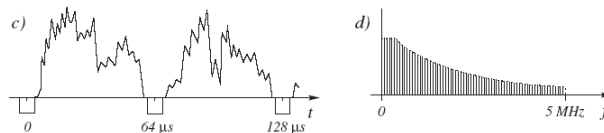
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - EXEMPLO DE SINAIS E REPRESENTAÇÃO ESPECTRAL -

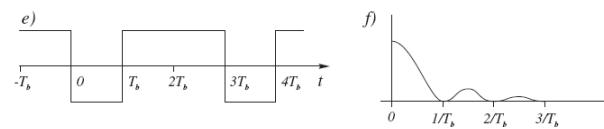
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal audio



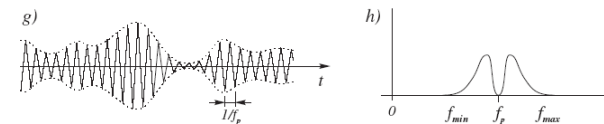
exemplo da forma de onda e espectro de um sinal de televisão



exemplo da forma de onda e espectro de um sinal binário



exemplo da forma de onda e espectro de um sinal após modulação

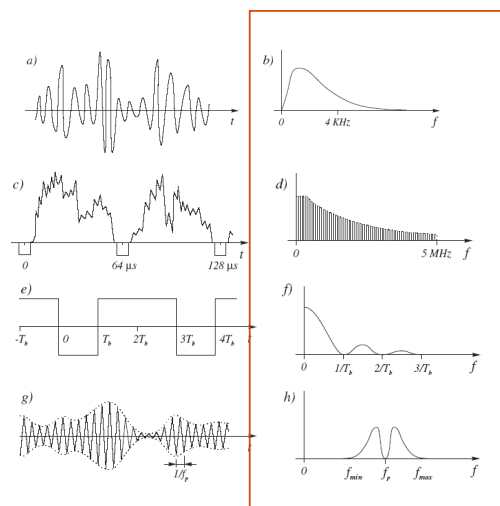


7



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - EXEMPLO DE SINAIS E REPRESENTAÇÃO ESPECTRAL -



- espectro tem elevada importância para a **caracterização do sinal...**
- ... e **requisitos para a sua correta transmissão** no canal de comunicação
- Além disso, os canais de comunicação tem também limitações...

8



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS-

As limitações fundamentais à transmissão da informação por **meios eléctricos** são:

- **Largura de banda**
- **Ruído**

Consequências:

- Ritmo máximo teórico de símbolos digitais que por ele se podem transmitir
- Limite máximo para a capacidade do canal



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Largura de Banda -

- **Largura de banda** de um sistema de transmissão relaciona-se com a facilidade com que o sistema consegue "*acompanhar*" as variações do sinal de entrada
- **Ritmo máximo teórico de símbolos** digitais que se podem transmitir no sistema (**Ritmo de Nyquist**):

$$r_s \leq 2 * B_T$$

já anteriormente  
referido no âmbito  
da digitalização



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

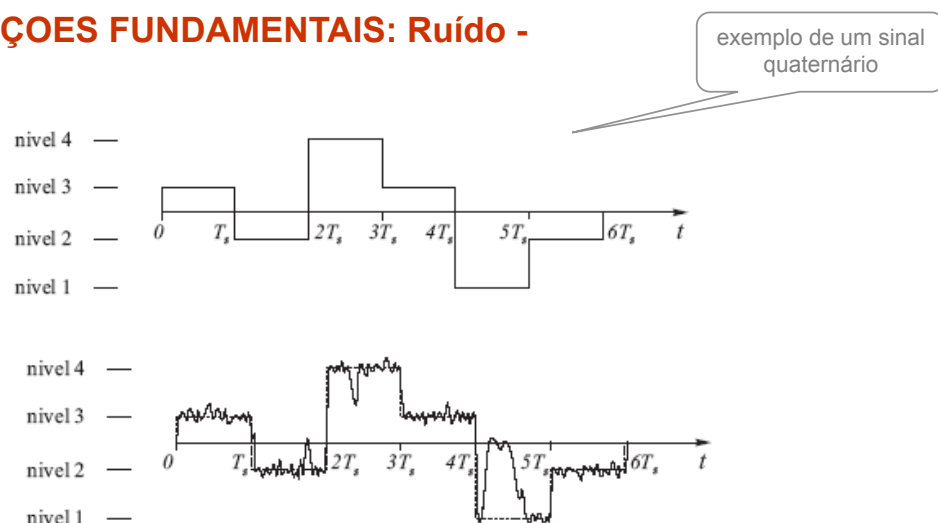
- Constitui a segunda limitação à transmissão de informação
- Existem vários tipos de ruído: movimento aleatório de partículas carregadas electricamente dá origem a correntes e tensões aleatórias - **ruído térmico**
  - introdução de tensões aleatórias que se adicionam ao sinal
  - altera a "forma" do sinal dificultando a distinção entre os diferentes níveis do sinal

11



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -



12



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- O ruído é considerado um sinal aleatório,  $n(t)$ 
  - possui uma determinada densidade de potência expressa em  $\eta$  Watt/Hz
  - **Potência média total** do ruído (**N**) na banda do canal:

$$N = \eta B_T \text{ Watts}$$



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- A influência do ruído no sinal mede-se em termos de **razão de potências de sinal-ruído**, (**S/N**)
- **S** - potência média do sinal no destino
- Para pequenos valores de **S/N** o ruído dá origem a **erros nas comunicações digitais**
- Problemas críticos nas comunicações de longa distância quando a potência do sinal é reduzida substancialmente





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - LIMITAÇÕES FUNDAMENTAIS: Ruído -

- Implicações em termos de **capacidade do canal**
- Ritmo de informação não pode exceder (**Lei de Hartley-Shannon**):

$$C = B_T \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right) \text{ bits/s}$$

base adoptada depende da  
unidade de medida da  
informação escolhida

15



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- O objectivo da **modulação** é gerar um sinal adaptado às características do canal físico de transmissão
  - e.g. **características do sinal não são adequadas** ao canal onde se pretende transmitir → necessidade outra gama de frequências
  - e.g. por questões de multiplexagem → necessidade de **ocupar uma determinada faixa de frequências**
  - etc...

espectro sinal vs frequências  
suportadas no canal

16



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- Modulação envolve duas formas de onda: o **senal modulante** e a **portadora**
- **Sinal modulante** - representa a mensagem que se pretende transmitir
- **Onda portadora** - é alterada de acordo com as variações de amplitude do sinal modulante  
[normalmente a portadora possui uma **frequência bastante maior** que qualquer dos componentes de frequência do sinal modulante]

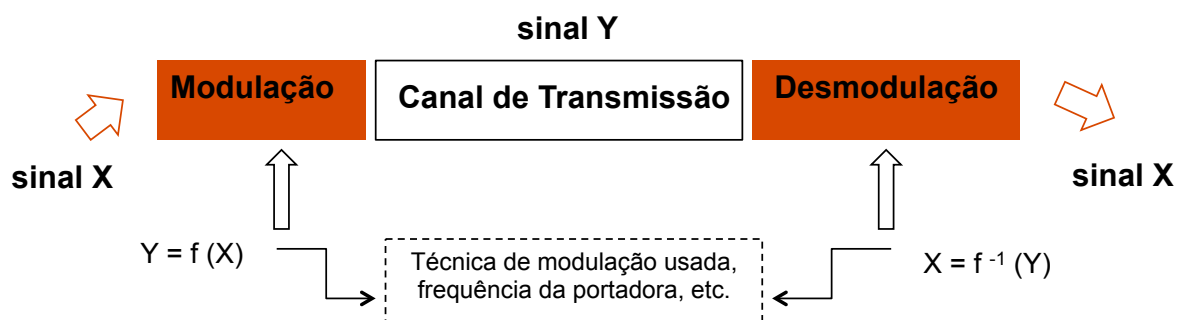
17



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- Onda resultante "transporta" a informação do sinal original; necessária uma operação de **desmodulação**

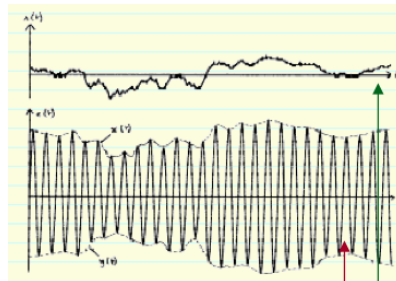


18

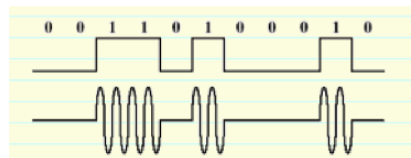
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

- Se sinal modulante é **analógico** → modulação analógica



- Se sinal modulante é **digital** → modulação digital



19

## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - TÉCNICAS DE MODULAÇÃO -

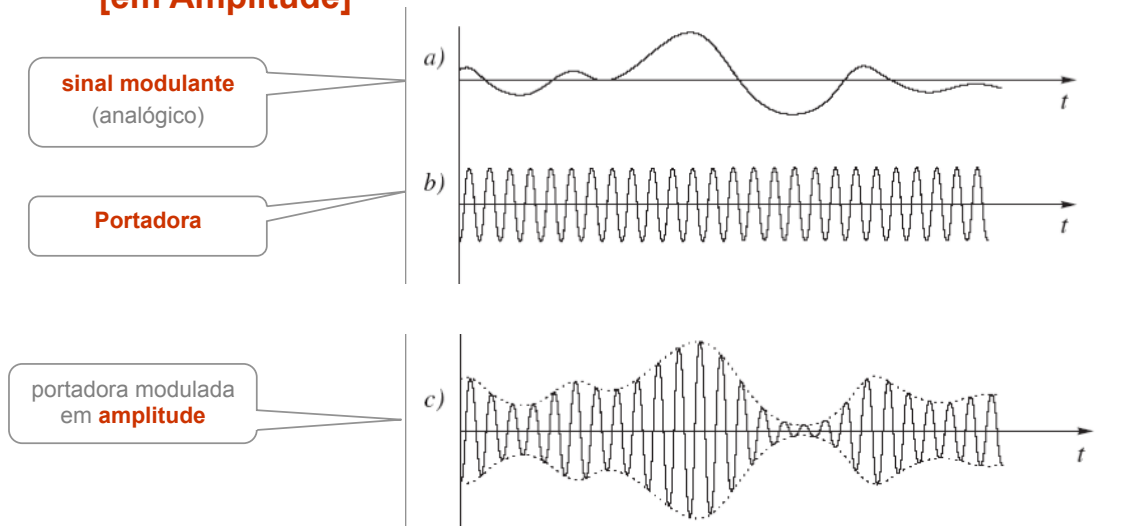
- Que **técnicas de modulação** existem?
  - baseadas em amplitude, frequência, fase
  - ... e várias outras que derivam (ou combinam) dessas técnicas
- Porquê existem alternativas?
  - as diferentes técnicas de modulação apresentam **vantagens/desvantagens** que podem justificar, ou não, a sua utilização

20



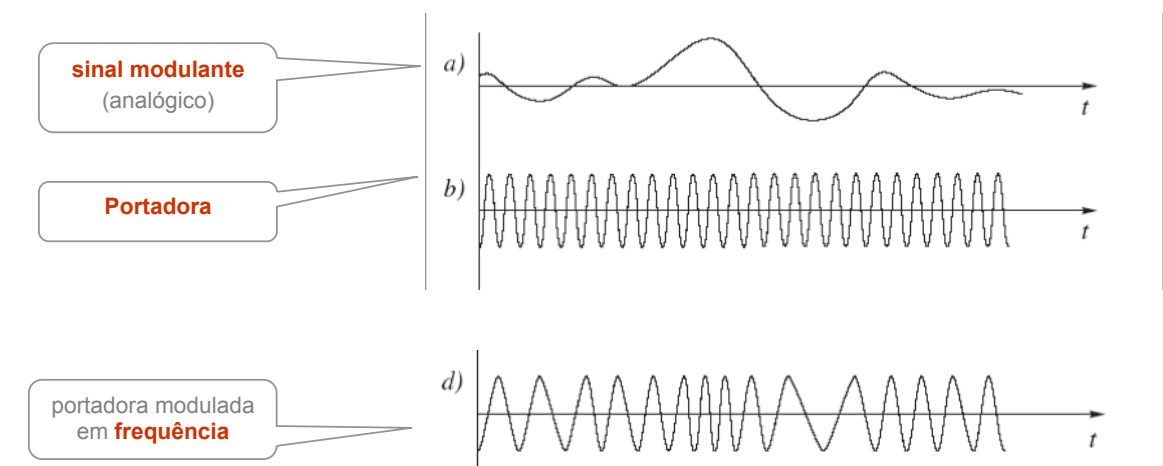
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO: modulação analógica de onda contínua [em Amplitude]



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

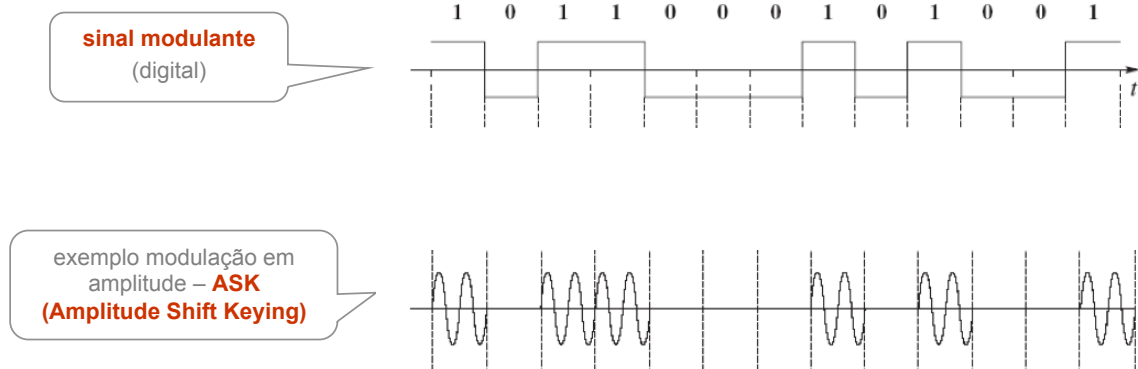
### MODULAÇÃO: modulação analógica de onda contínua [em Frequência]





## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

**MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua**  
**[em Amplitude – ASK]**



23



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

**MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua**  
**[em Amplitude – ASK]**

- **Desmodulação:** basta detetar (ou não) a presença de uma senoide num determinado intervalo de tempo
- **Vantagens:** simplicidade
- **Desvantagens:** mecanismo de modulação facilmente afetado pelo ruído (amplitudes são mais afetadas pelo ruído/interferências)

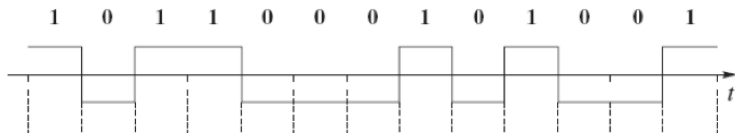
24



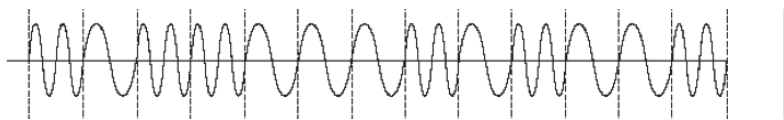
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

**MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua**  
**[em Frequência – FSK]**

sinal modulante  
(digital)



exemplo modulação em  
frequência – FSK  
(Frequency Shift Keying)



25



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

**MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua**  
**[em Frequência – FSK]**

- **Desmodulação:** é necessário detetar qual das duas frequências possíveis está presente num determinado intervalo de tempo
- **Vantagens:** FSK é menos afetado pelo ruído que o ASK. Como se baseia em frequência, possíveis alterações de amplitude são ignoradas
- **Desvantagens:** normalmente ocupa mais largura de banda que o ASK

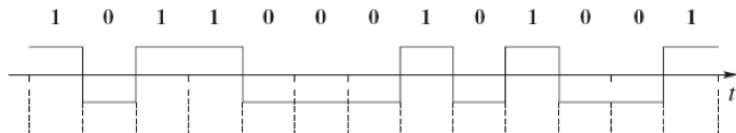
26



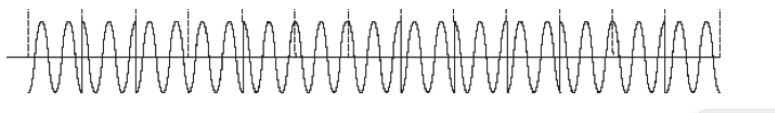
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua [em Fase – PSK]

sinal modulante  
(digital)



exemplo modulação em  
fase - **PSK (Phase Shift  
Keying)**



27



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua [em Fase – PSK]

- **Desmodulação:** é necessário detetar a fase da sinusoide tendo em conta algum valor de referência
- **Vantagens:** PSK é menos afetado pelo ruído que o ASK; conseguem-se débitos superiores aos obtidos pelo FSK
- **Desvantagens:** mais complexo o processo de detecção / recuperação do sinal transmitido

28



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### - MODULAÇÃO: modulação digital de onda contínua

- A operação de modulação altera o espectro do sinal modulante
- O **espectro do sinal modulado** tem alguma relação com o espectro do sinal original?
  - esta questão será abordada mais tarde no capítulo Análise de Sinais
  - **Teorema da Modulação**.....



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO: outras variantes

- Várias técnicas de modulação são **derivações/extensões/combinções** das técnicas anteriores referidas  
[2 exemplos ilustrativos]
- **Variantes PSK**  
QPSK (Quadrature Phase-shift keying), 8-PSK, 16-PSK, ..., etc.
- **Mistura ASK + PSK**  
QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 8-QAM, 16-QAM, ..., etc.





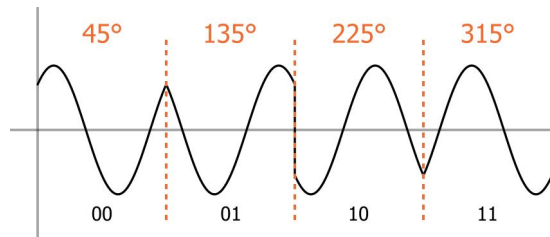
## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO: outras variantes

#### [QPSK - Quadrature Phase-shift keying]

- Modulação em fase em que assume 4 possibilidades diferentes para a fase da senoide (e.g.  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ , ou outras combinações)
- Cada alternativa de sinal representa **2 bits** → melhor aproveitamento da largura de banda, maiores débitos, ...

Exemplo  
Ilustrativo



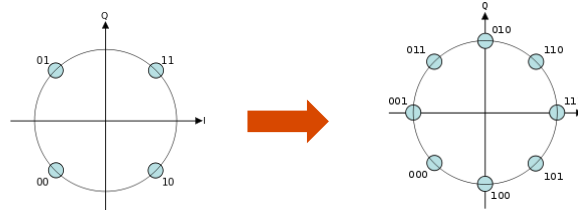
31



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### MODULAÇÃO: outras variantes [8-PSK]

- É possível aumentar o número de alternativas de fases, e.g. passando de 4 para 8 (**8-PSK**), cada alternativa representa **3 bits**



constellation  
diagrams

- Normalmente com valores acima das 8 fases as taxas de erros começam a ser elevadas → utilização de outras modulações (mas + complexas) e.g. **QAM**

32



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### [QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

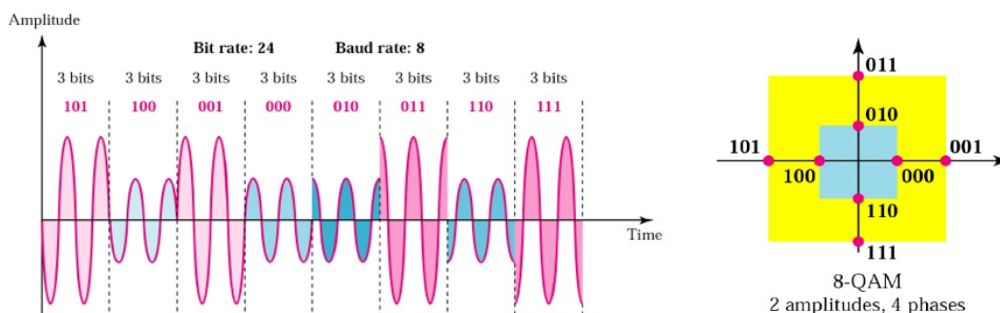
- Técnica que combina as técnicas **ASK** e **PSK**
- Após modulação o sinal pode assumir **diferentes combinações de amplitudes & fases**
  - > sinal é gerado a partir de 2 portadoras desfasadas que são modeladas em amplitude
- Maior número de alternativas para amplitude/fase → Maior capacidade de transmitir **mais bits por símbolo**
- mas ... quantas **mais alternativas** → **maior sensibilidade ao ruído ... dificuldade** em distinguir o sinal [necessidade de uma maior relação S/N]



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### [QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

- Exemplo: **8-QAM** (usando 2 amplitudes e 4 fases)



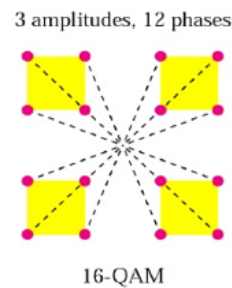
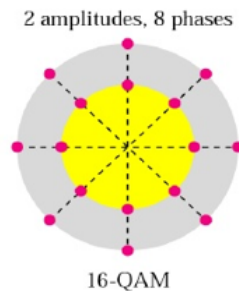
- Outros esquemas: **16-QAM**, **64-QAM**, **256-QAM**, ..., **1024-QAM**, etc. etc. (cada um com *constellation diagram* próprios)



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### [QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

- Exemplos de *constelações* **16-QAM** [4 bits por símbolo]  
[não é obrigatório usar todas as combinações de fases \*  
amplitudes... porquê?!]



## IV. CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO E SINAIS

### [QAM – Quadrature Amplitude Modulation]

- Técnicas QAM (e derivadas) **bastante usadas** por várias tecnologias, e.g.:
  - Digital Cable Television
  - Cable Modems
  - Powerline Ethernet
  - ITU G.hn [home network technology: power lines, phone lines and coaxial cables with 2 Gbps → até 12 bits/símbolo → 4096-QAM]
  - ADSL [e.g. até 15 bits/símbolo → 32768-QAM]
  - Wi-Fi [dependente da versão]
  - etc.