



Processamento de sinais

MFT 5725 – Pesquisa clínica: delineamento, e condução,
processamento de sinais biológicos e tratamento estatístico

Programa de Ciências da Reabilitação

Profa. Dra. Eneida Yuri Suda



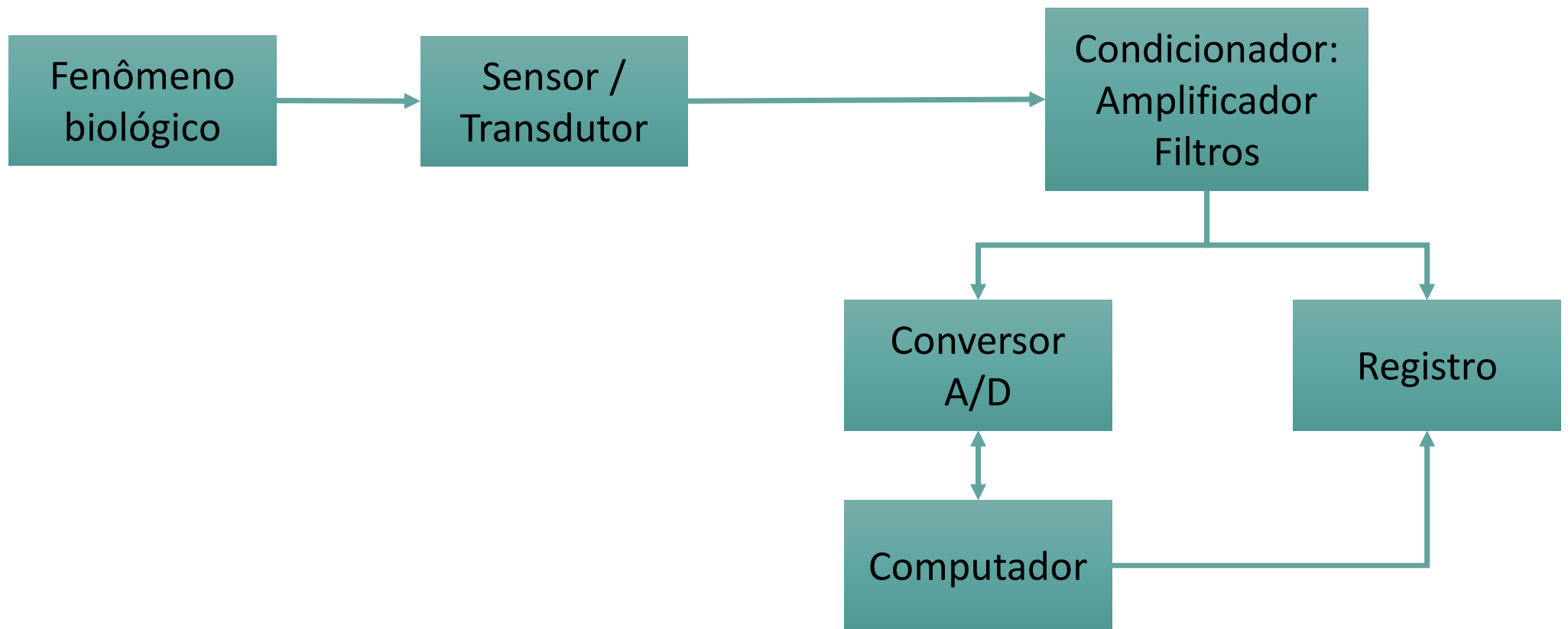
Objetivos

- Adequar a aquisição de dados/sinais biológicos ao desenho experimental proposto;
- Entendimento das características do sinal biológico;
- Captação, armazenamento, processamento e análise;
- Técnicas avançadas de processamento e análise.

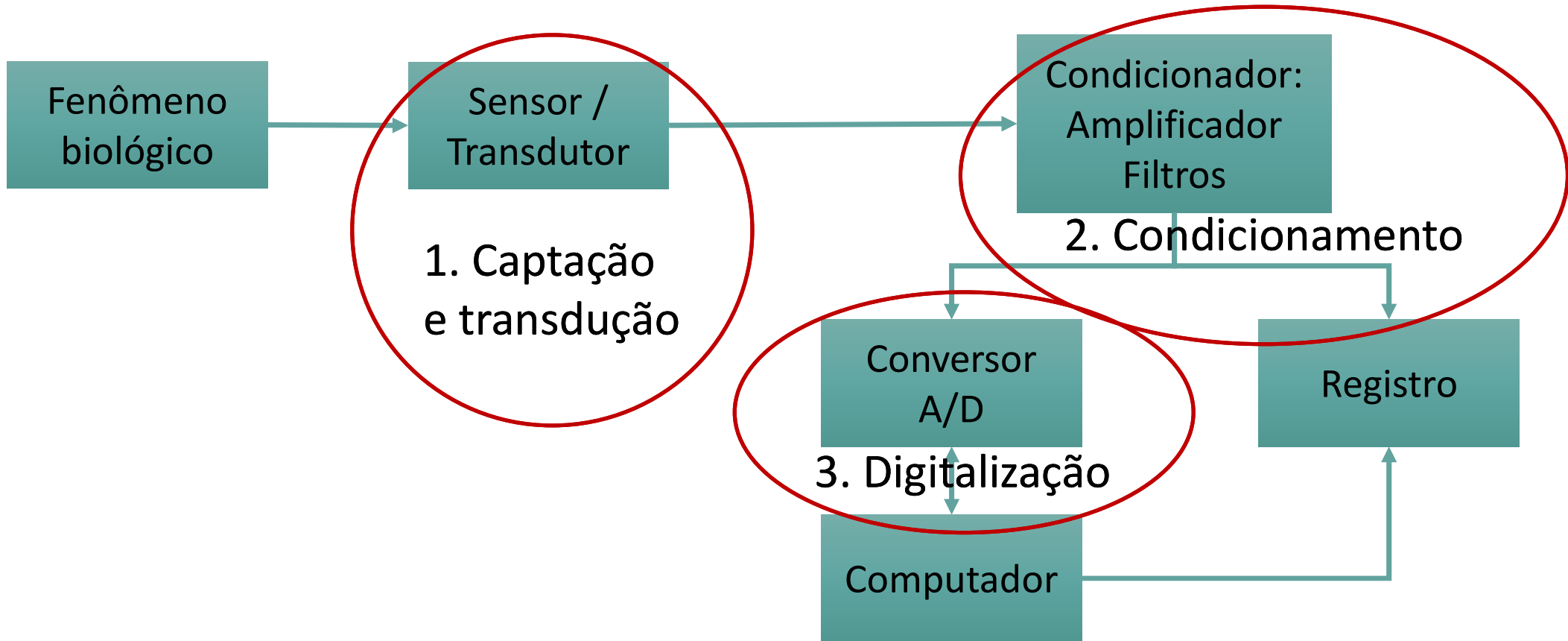
Técnicas que usam processamento digital do sinal:

- Voz/Áudio
- Imagem/vídeo
- Automação e controle de processos
- Robótica
- Visão computacional
- Sismologia
- Meteorologia
- Finanças
- Economia
- Sistemas embarcados
- Instrumentação
- Reconhecimento e identificação de padrões
- Sistemas especialistas
- Navegação aeroespacial
- Guerra eletrônica
- Agricultura de precisão
- Biomecânica
- Medicina
- Biologia
- Química
- Engenharia biomédica

Aquisição de dados biológicos

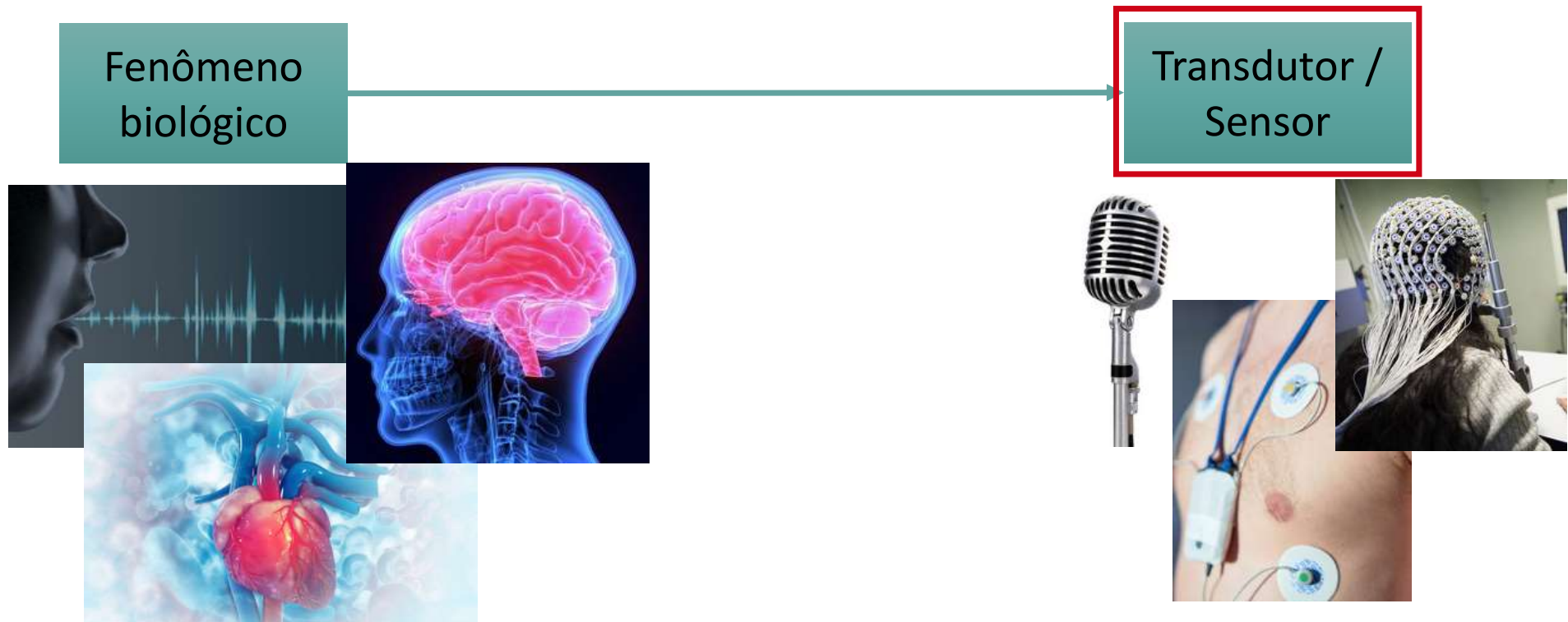


Aquisição de dados biológicos



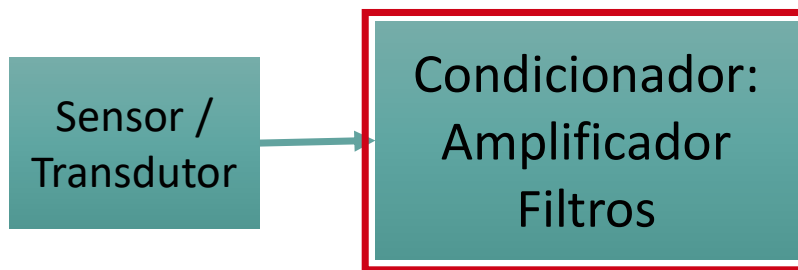
1. Captação e transdução

- Captar o sinal na sua fonte de geração e traduzi-lo numa forma elétrica;



2. Condicionamento

- Condicionar o dado num formato adequado para digitalizar

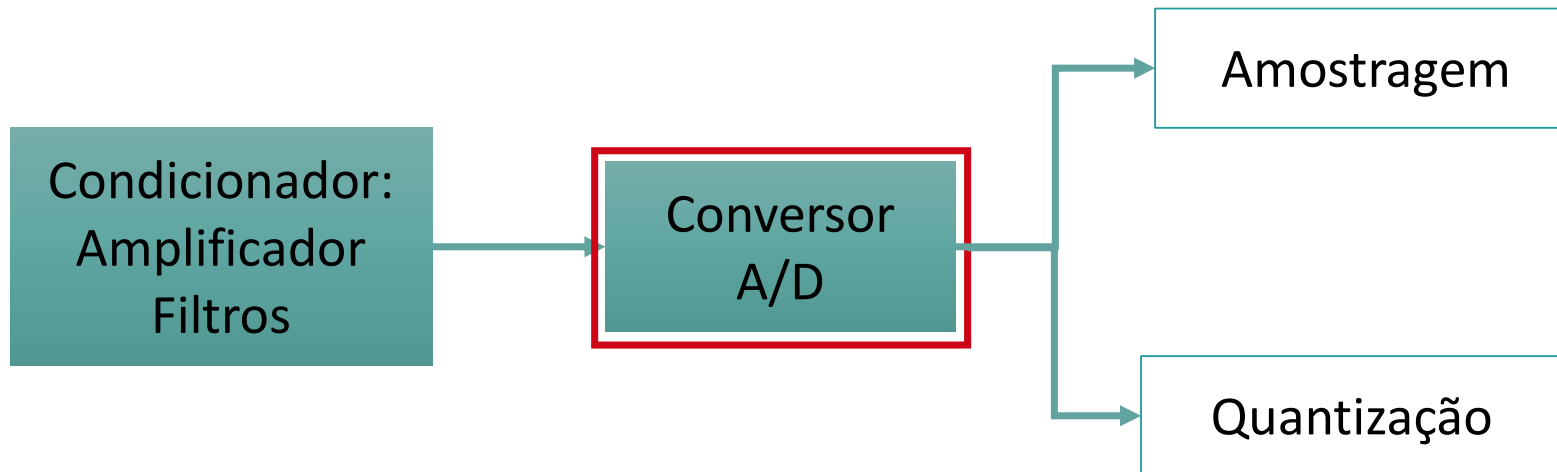


Medição de forma eficaz e exata

Boa relação sinal/ruído e distorção harmônica mínima

3. Digitalização

- Conversão do sinal analógico em digital



Permite armazenamento e processamento dos dados

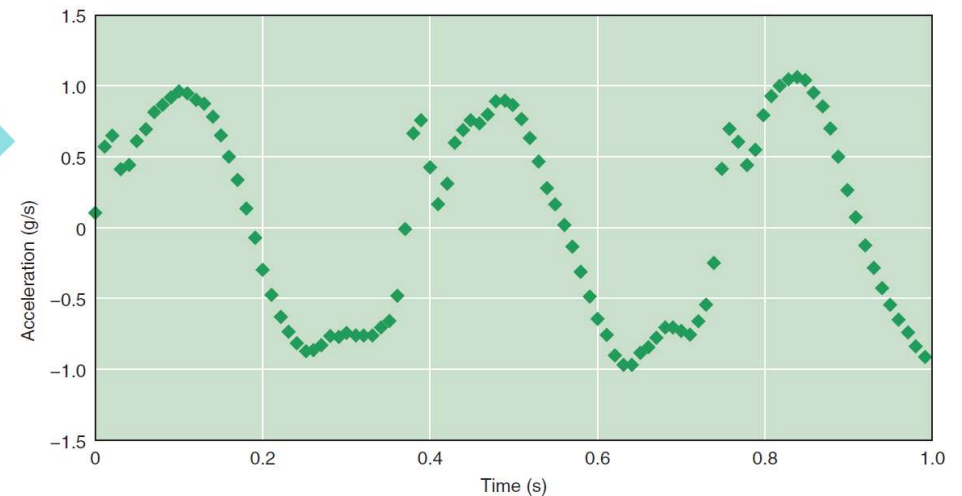
Amostragem

Sinal analógico

- Sinal **contínuo** = acontece em todos os instantes do tempo

Sinal digital

- Sinal **discretizado** no tempo = sequência de amostras



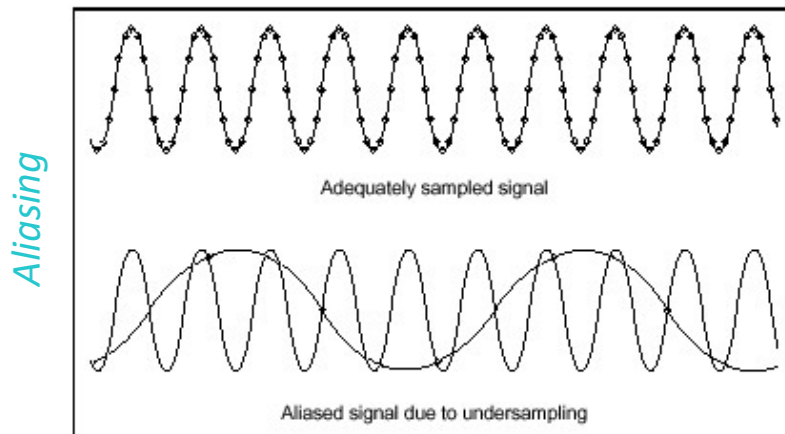
▲ **Figure 12.1** The digitized discrete representation of the acceleration of the head while a subject is running. The signal was sampled at 100 Hz (100 samples per second).

Frequência de amostragem

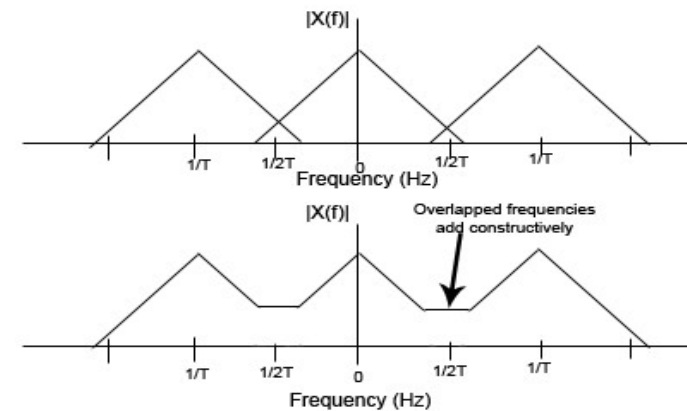
Teorema da amostragem

- O sinal a ser processado deve ser adquirido a uma frequência de amostragem no mínimo **duas vezes** maior que o **maior frequência** presente no sinal

Frequência de Nyquist

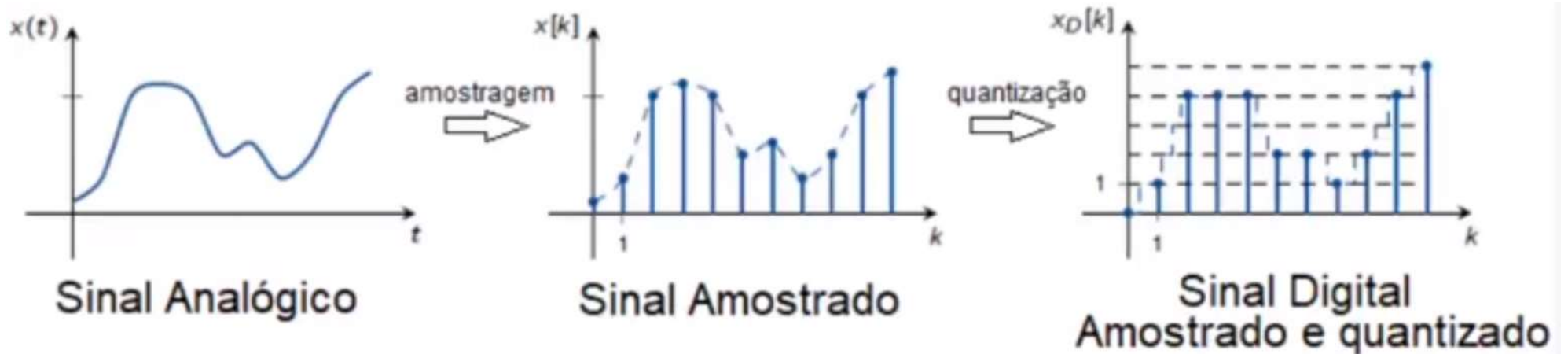


Superposição de espectros



Quantização

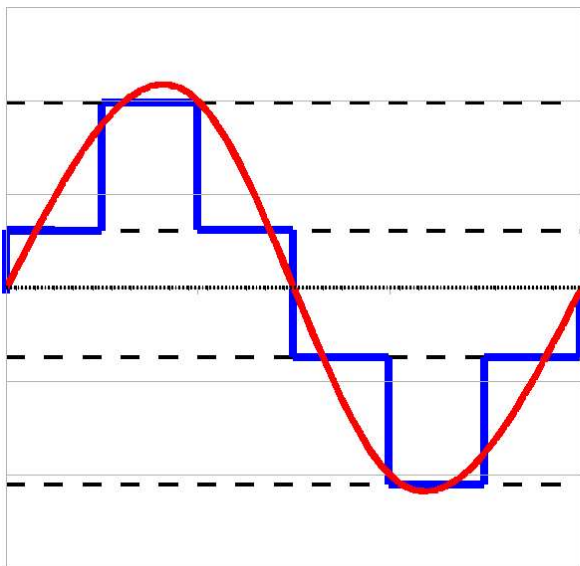
- Atribuição de valores discretos bem definidos para um sinal cuja amplitude pode assumir infinitos valores
- Substituição de cada número real por um conjunto finito de valores discretos



Decodificação

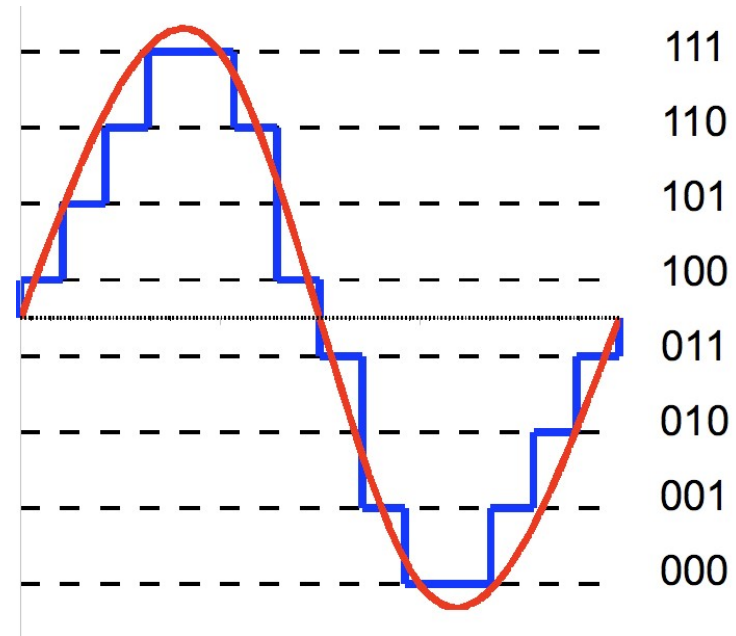
- Cada amostra é constituída por um número correspondente à amplitude do sinal (palavra digital);
- Essa palavra é discriminada em bytes

2-bit



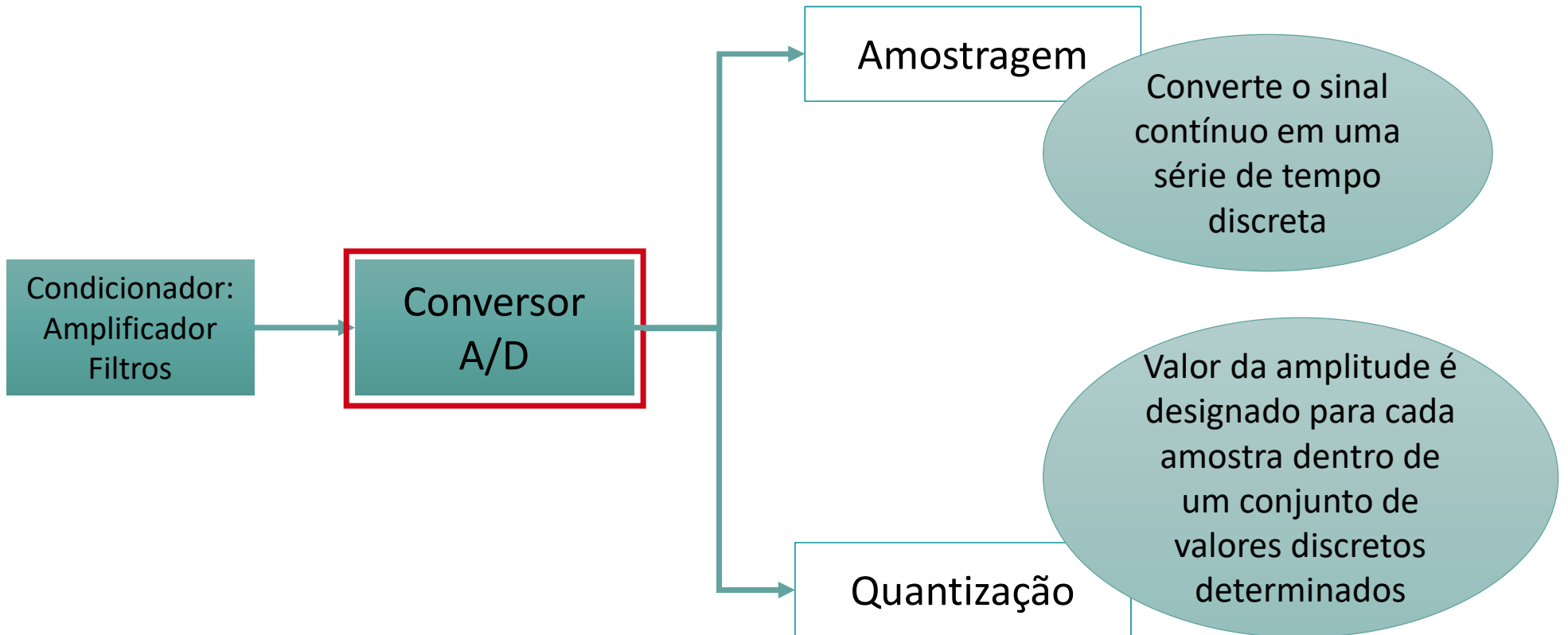
11
10
01
00

3-bit



1 byte = 8 bits

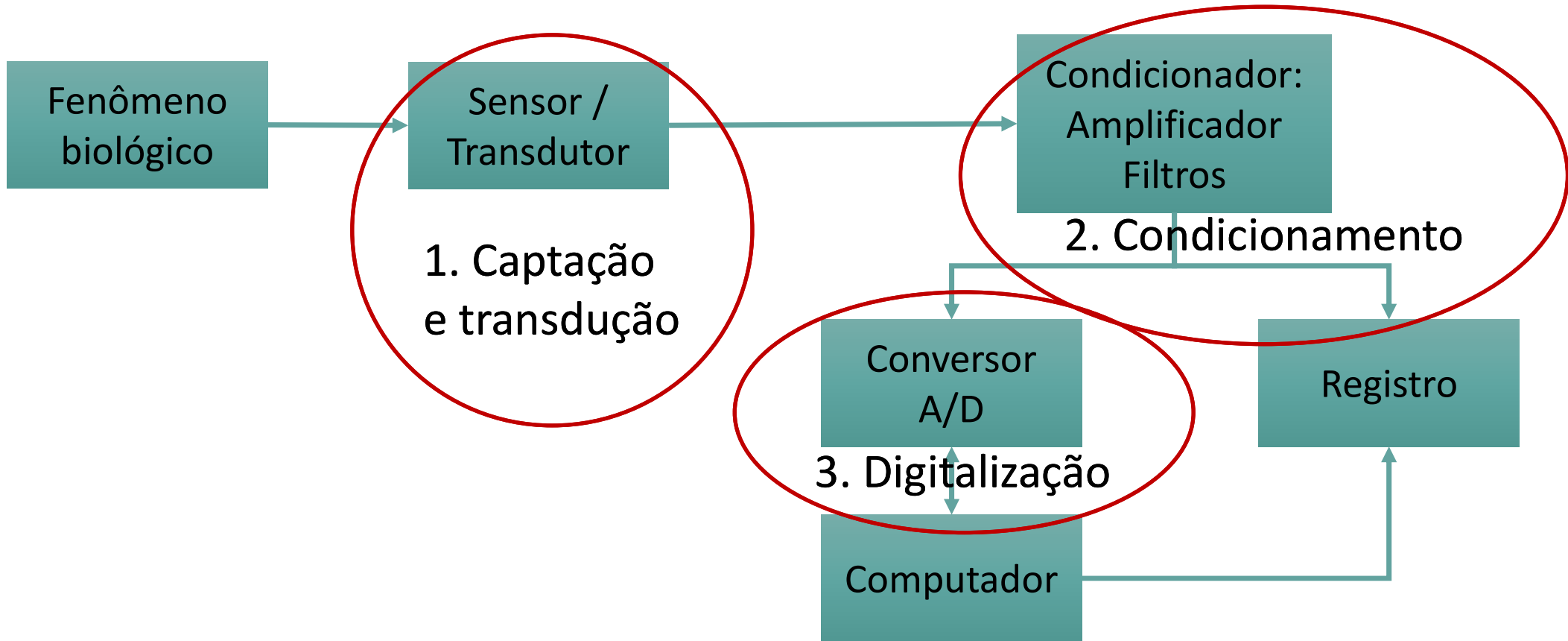
3. Digitalização



Vantagens da discretização do sinal

- ↓ Quantidade de dados armazenados;
- Acesso *off-line* dos dados;
- Uso de técnicas de tratamento digitais do sinal após a aquisição
 - Filtragens, alisamentos, operações e tratamentos

Aquisição de dados biológicos

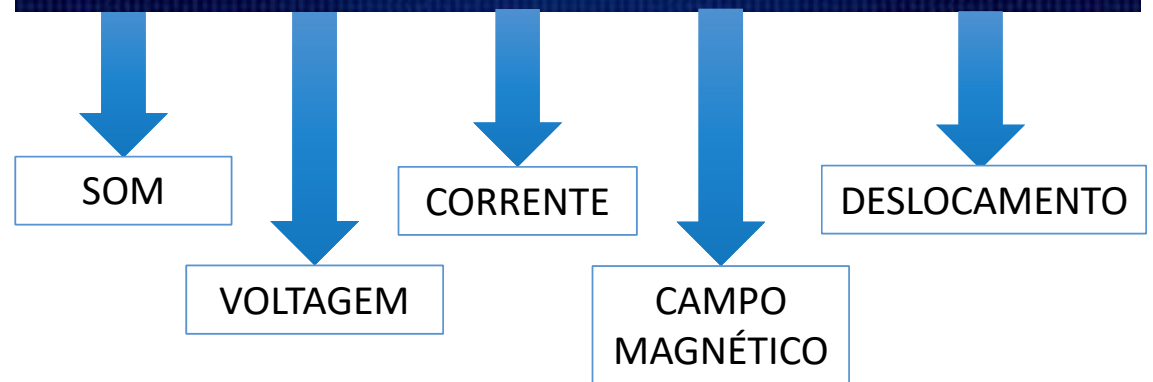


Sinal

- É uma grandeza que varia no tempo e no espaço e que carrega uma informação

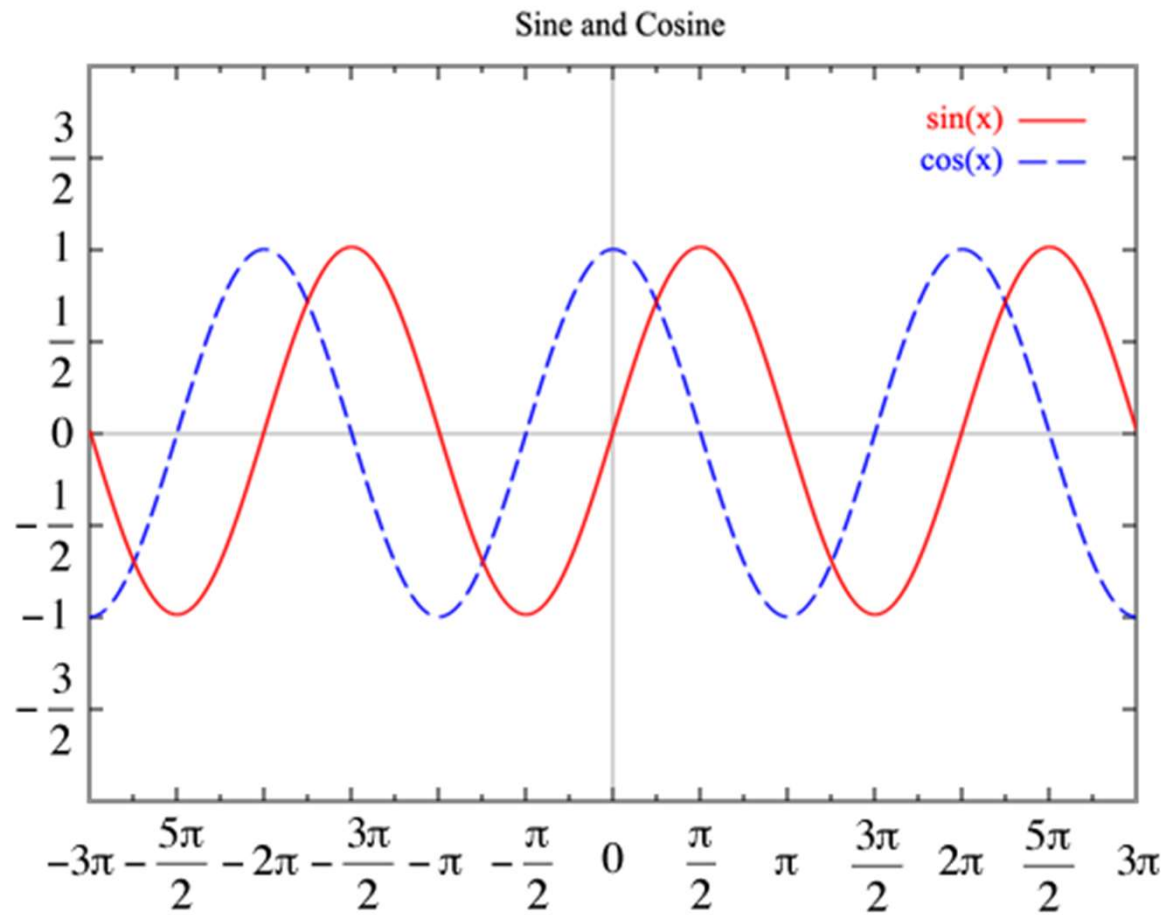
Onda

- É uma grandeza que varia no tempo e no espaço e que carrega uma informação e/ou dados não desejáveis (= ruído)

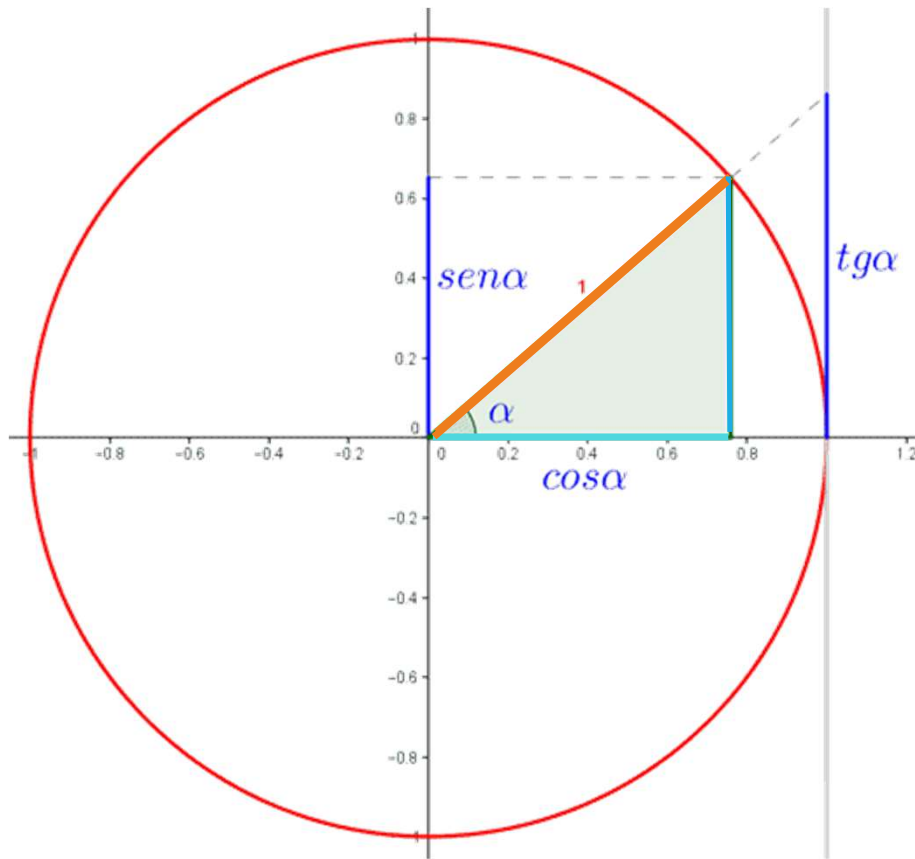


Sinal sinusoidal

Obedece a uma função seno ou coseno
Forma de onda mais simples



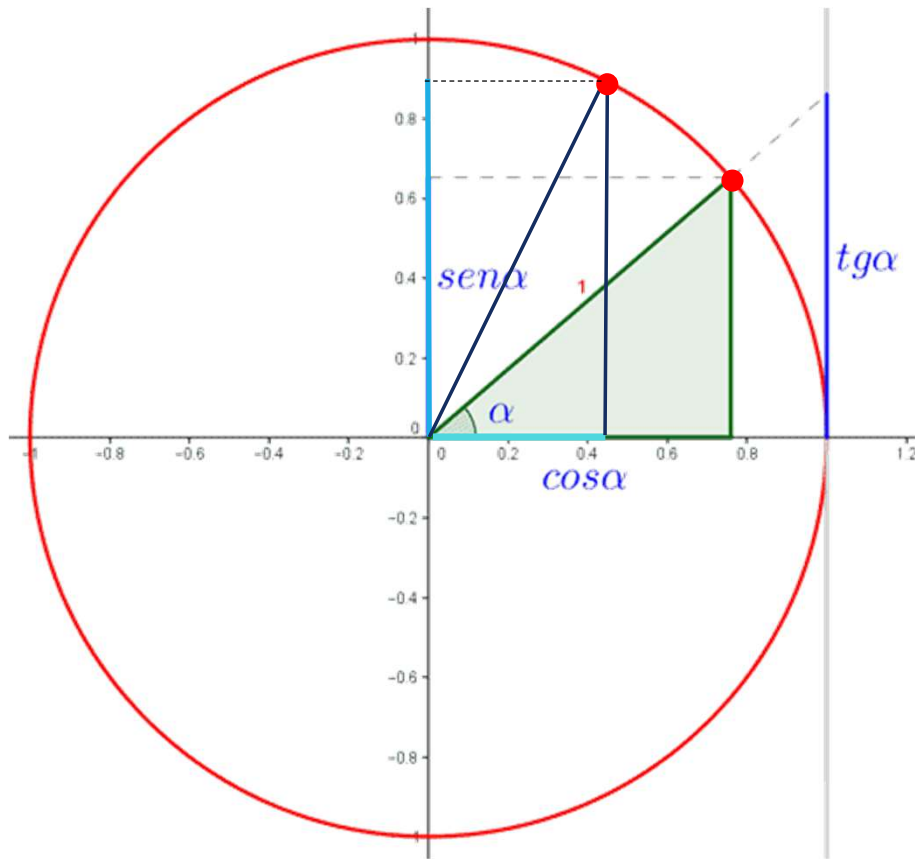
Seno e cosseno



- $\cos \alpha = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$

- $\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}}$

Seno e cosseno

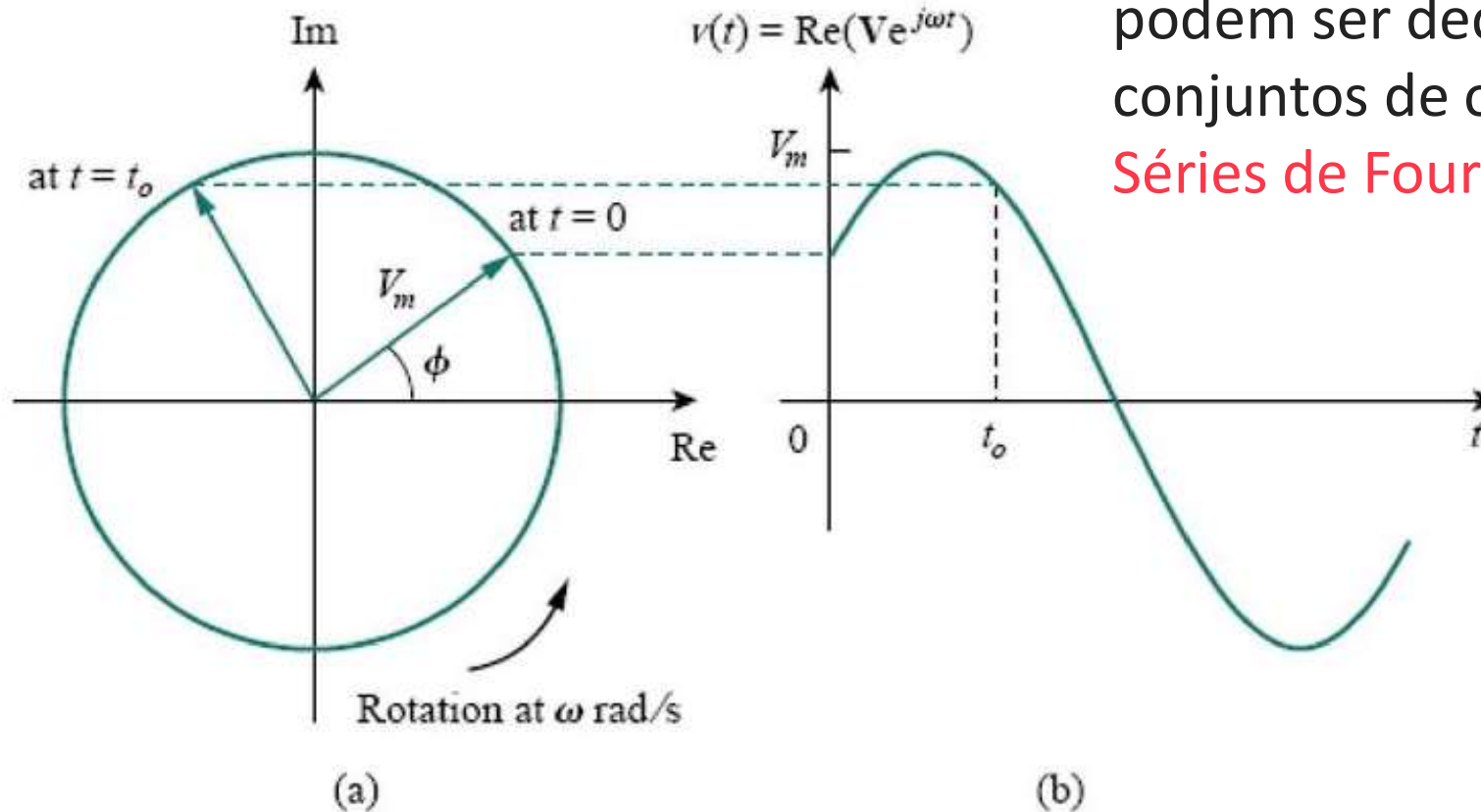


- $\cos \alpha = \frac{\text{cateto adjacente}}{\text{hipotenusa}}$

- $\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}}$

Sinal sinusoidal

Todas as outras formas de onda, mesmo as mais complexas, podem ser decompostas em conjuntos de ondas senoidais – **Séries de Fourier**



Características do sinal sinusoidal

- Frequência
- Amplitude
- Offset
- Ângulo de fase

Frequency: f



Amplitude: a



Offset: a_0



Phase angle (shift): θ



Características do sinal sinusoidal

- Frequência

Frequency: f

a



Representa o quão rapidamente um sinal oscila

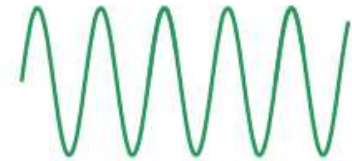
Ciclos por segundo = Hz

Características do sinal sinusoidal

- Amplitude

Amplitude: a

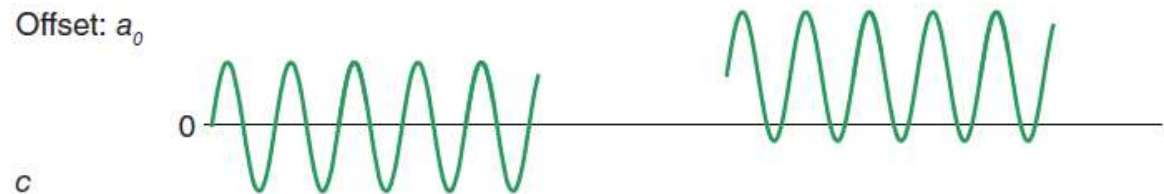
b



Magnitude das oscilações

Características do sinal sinusoidal

- Offset



Valor médio do sinal

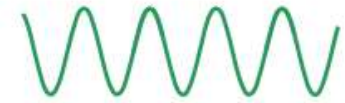
Offset de corrente direta ou *offset* de viés

Características do sinal sinusoidal

- Ângulo de fase

Phase angle (shift): θ

d



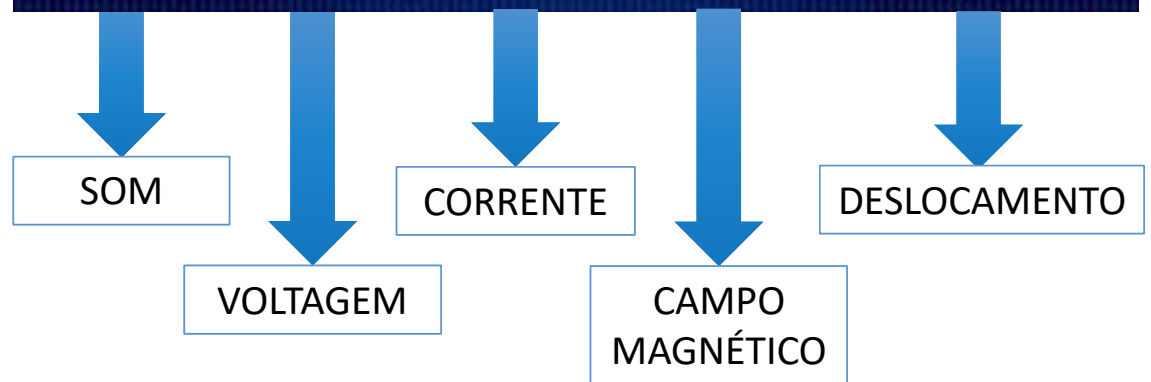
Quantidade de deslocamento ou atraso do sinal no tempo

Sinal

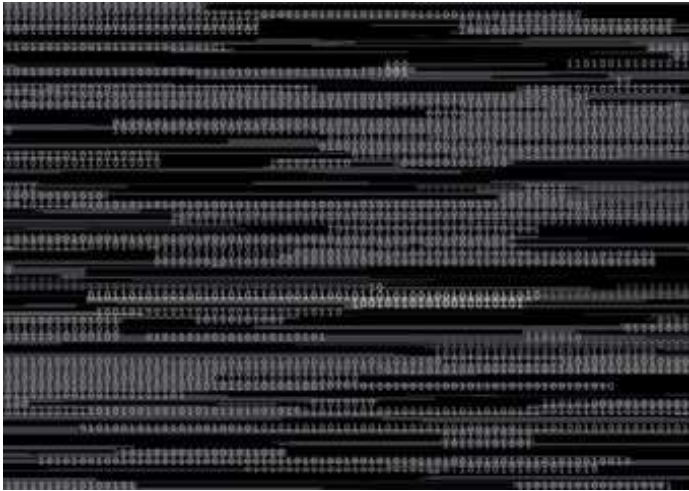
- É uma grandeza que varia no tempo e no espaço e que carrega uma informação

Onda

- É uma grandeza que varia no tempo e no espaço e que carrega uma informação e/ou dados não desejáveis (= ruído)

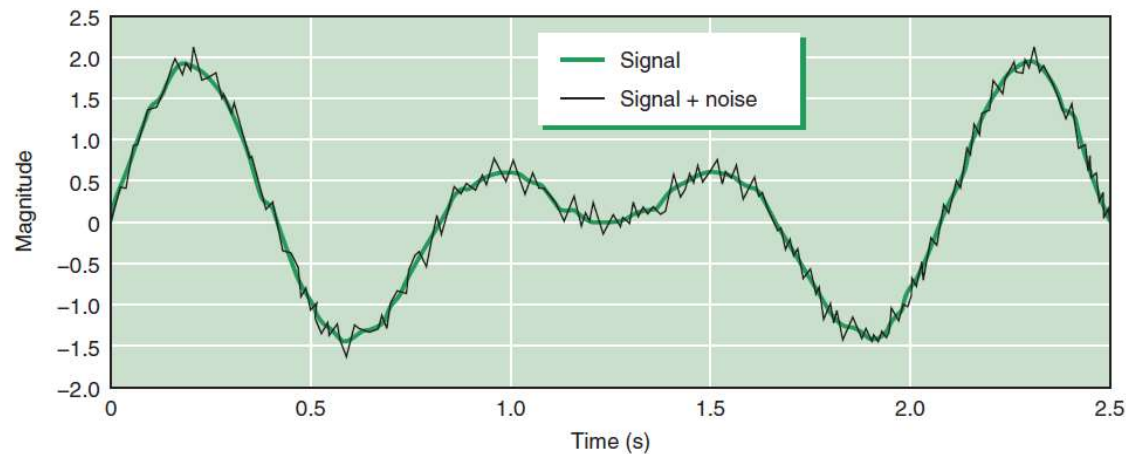


Ruído



Ruído

- Porção indesejada da onda
- Tipicamente de menor amplitude e sempre em uma frequência diferente da do sinal original

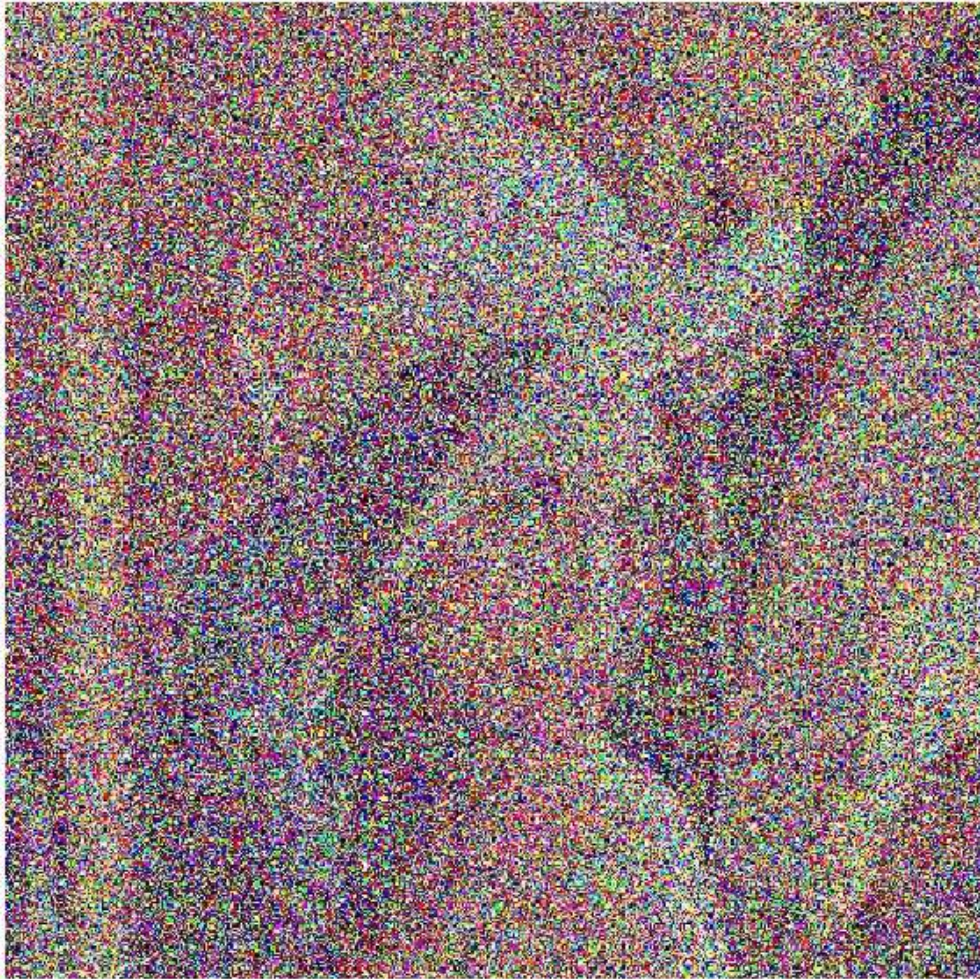


▲ **Figure 12.8** A biological signal with and without noise.

Filtragem



- Processo que visa eliminar o ruído sem afetar o sinal
- Várias técnicas:
 - Pontos fortes e fracos de cada uma
 - Modo como afeta o sinal e os componentes ruidosos da onda





Filtragem

- **Analógica:** filtra no momento da aquisição, no próprio conversor A/D;
 - Útil quando se sabe com clareza as características do sinal coletados, bem como possíveis fontes de interferência;
- **Digital:** sempre vai alterar os sinais biológicos digitalizados de acordo com uma regra matemática



Logic Pro X File Edit Track Navigate Record Mix View Window 1 Help

Vitória Régia3 - Tracks

01:01:33:09.47 0051 1 1 001 65,0000 2/4 No In CPU
0051 2 1 159 0067 1 1 001 122 /16 No Out HD

Library Region: MIDI Thru Track: Violino 2

Factory Default

Compare Copy Paste

Snap: Smart Drag: No Overlap View: 171%

Drums Voice Perform Studio Acoustic Electric Experience Legacy

20 50 100 200 500 1k 2k 5k 10k 20k

Gain 0.0 dB

Analyzer POST Q-Couple Processing: Stereo

Channel EQ

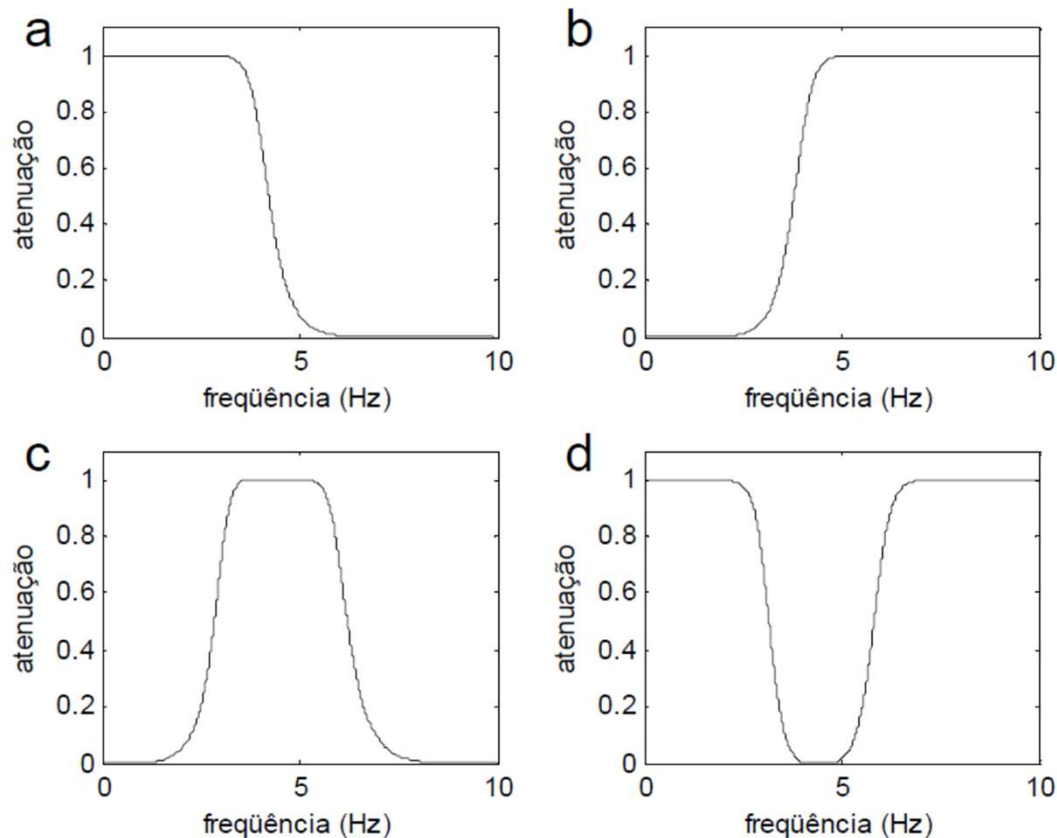
20.0 Hz	75.0 Hz	100 Hz	250 Hz	750 Hz	2500 Hz	7500 Hz	20000 Hz	Gain
48dB/Oct	0.0 dB	0.0 dB	0.0 dB	0.0 dB	0.0 dB	0.0 dB	48dB/Oct	0.0 dB
0.71	1.00	0.60	0.30	0.30	0.20	1.00	0.71	

dB 0.0 10.0 -6.2 -0.1 -1.8 -13 0.0 11.2 0.0 0.0 0.0 -1.8 -1.6 -5.7 -1.9 -2.5 0.0 0.0 0.0 -4.7 -0.1 -15 -2.0 -0.3 0.0

Violino 2 Aux 8

Revert Save...

Respostas em frequência de filtros digitais



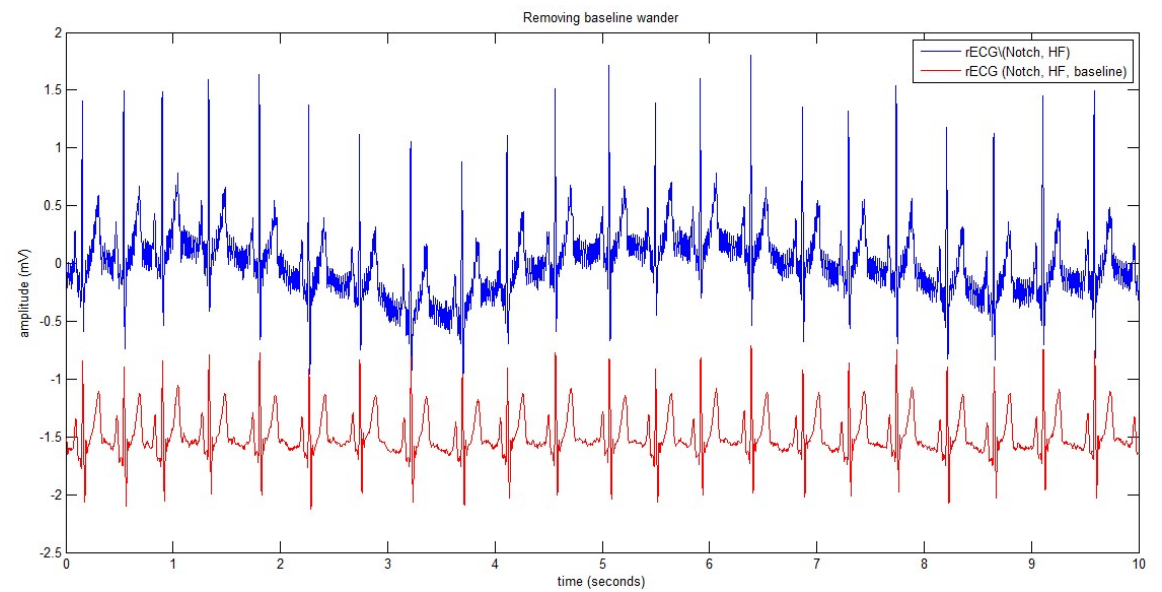
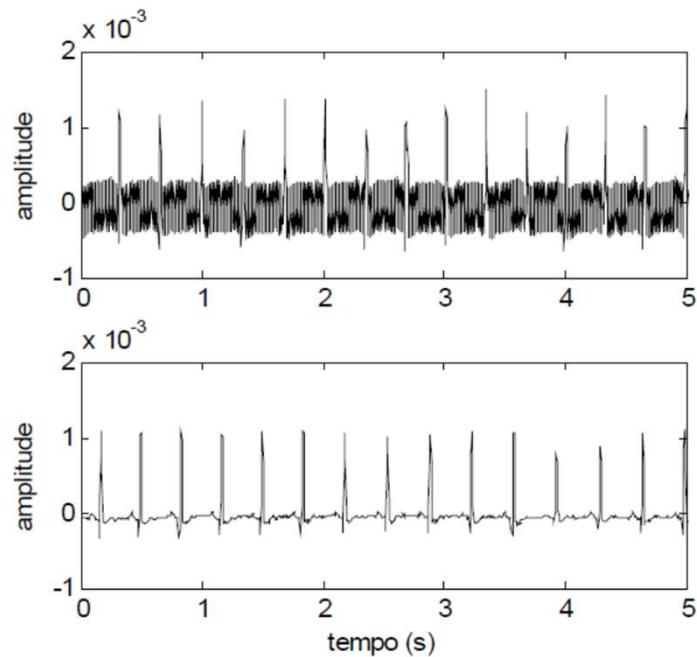
- Passa-baixa
- Passa-alta
- Passa-faixa ou passa-banda
- Rejeita-faixa
- Rejeita frequência (*notch*)

Frequência de corte

- F na qual o filtro reduz o poder da f pela metade
=
• Redução da amplitude em -3dB

Figura 7 – Exemplos dos vários tipos de respostas em frequência de filtros digitais: (a) Filtro passa-baixa; (b) Filtro passa-alta; (c) Filtro passa-faixa; (d) Filtro rejeita-faixa

Filtro digital: exemplo



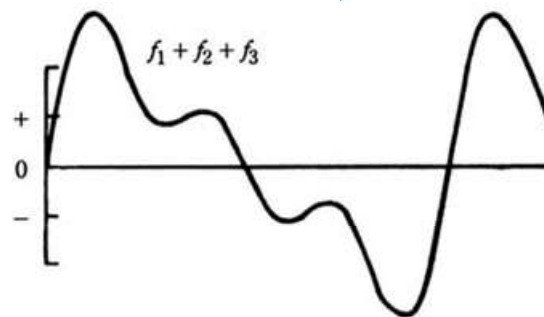
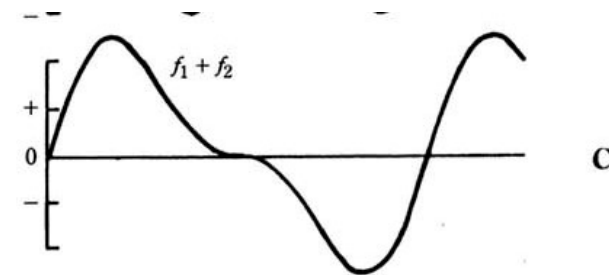
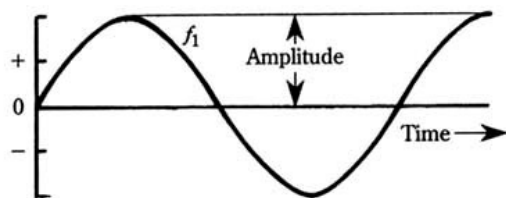
ira 18 – Sinal de ECG com interferência de 60 Hz e filtrado com filtro *notch*

Decomposição do sinal

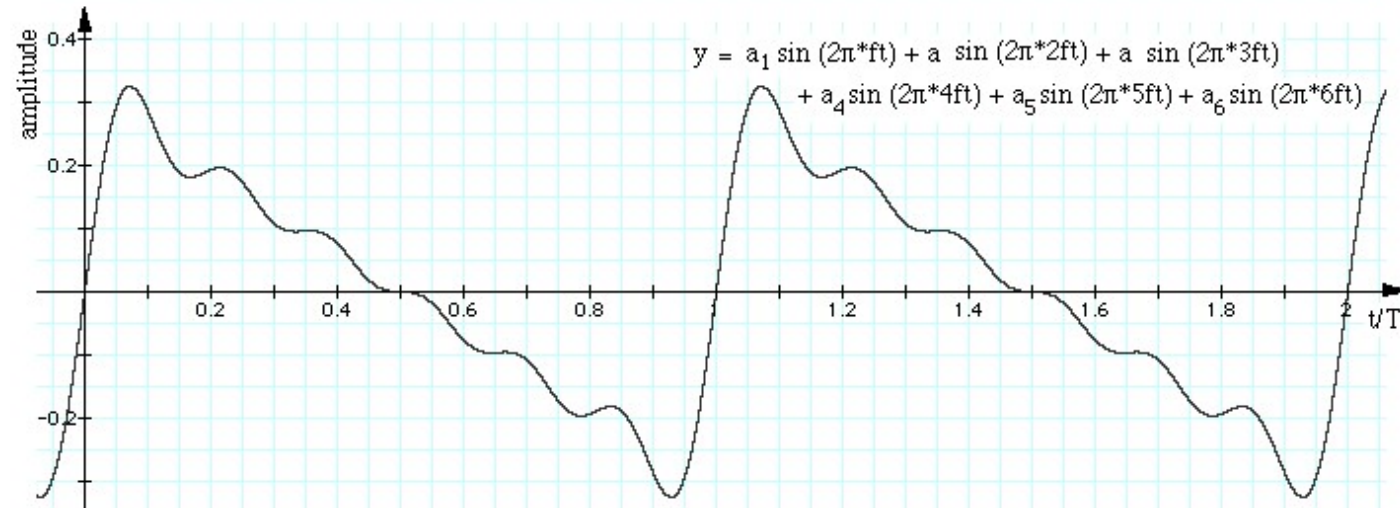
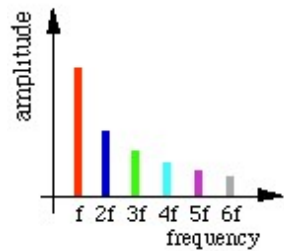
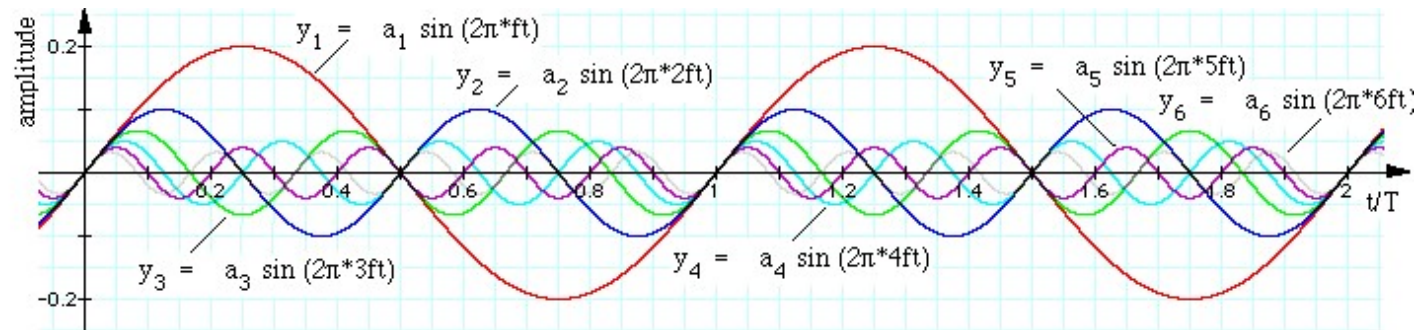
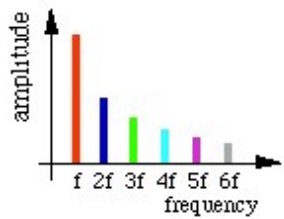
- Permite conhecer as características de onda do sinal
- TRANSFORMADA DE FOURIER
- Qualquer sinal pode ser construído como uma combinação de senóides
- Série de Fourier = representação de um sinal periódico como uma soma de todos os seus componentes senoidais



+



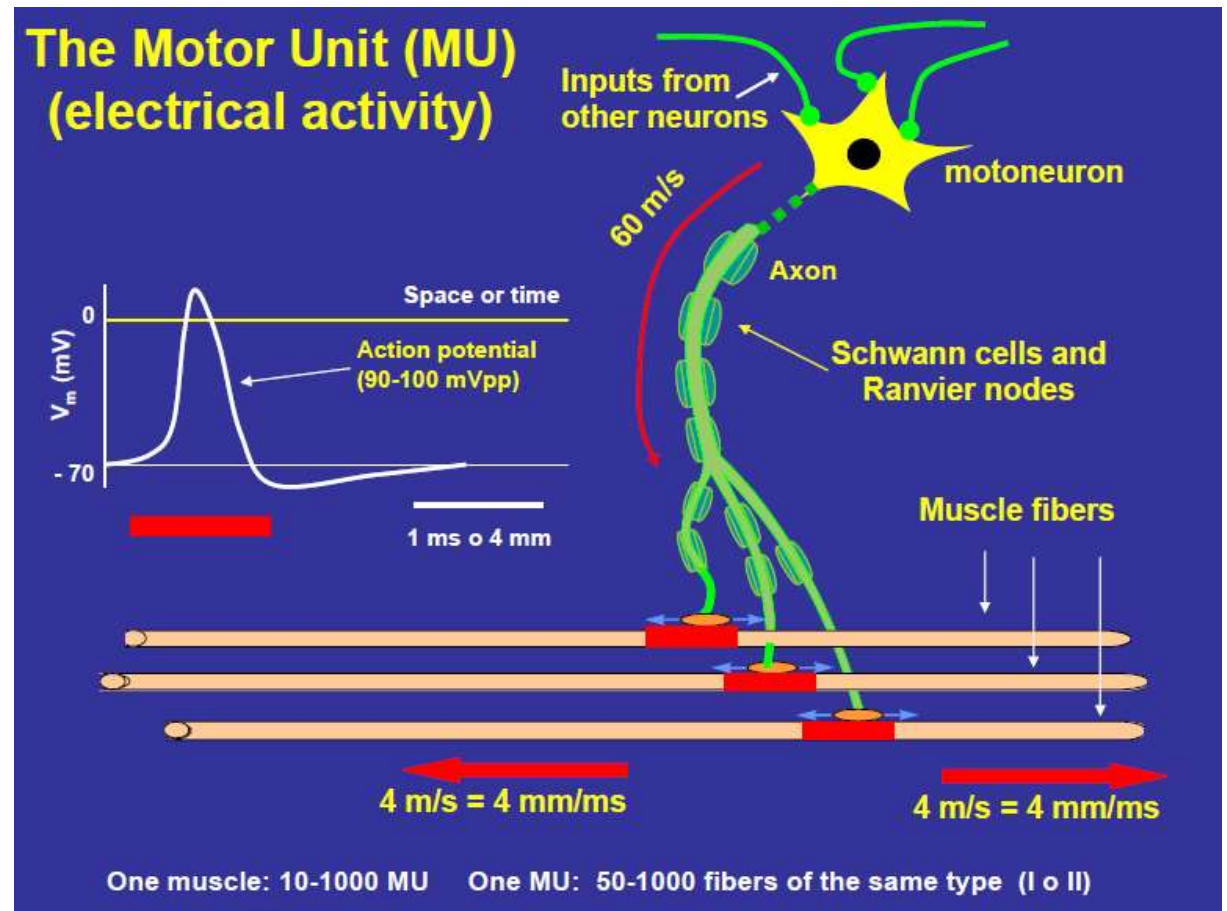
Espectro de frequência



MUAP

Potencial de ação da unidade motora

- Sinal elétrico gerado nas fibras musculares inervadas por um mesmo axônio eferente



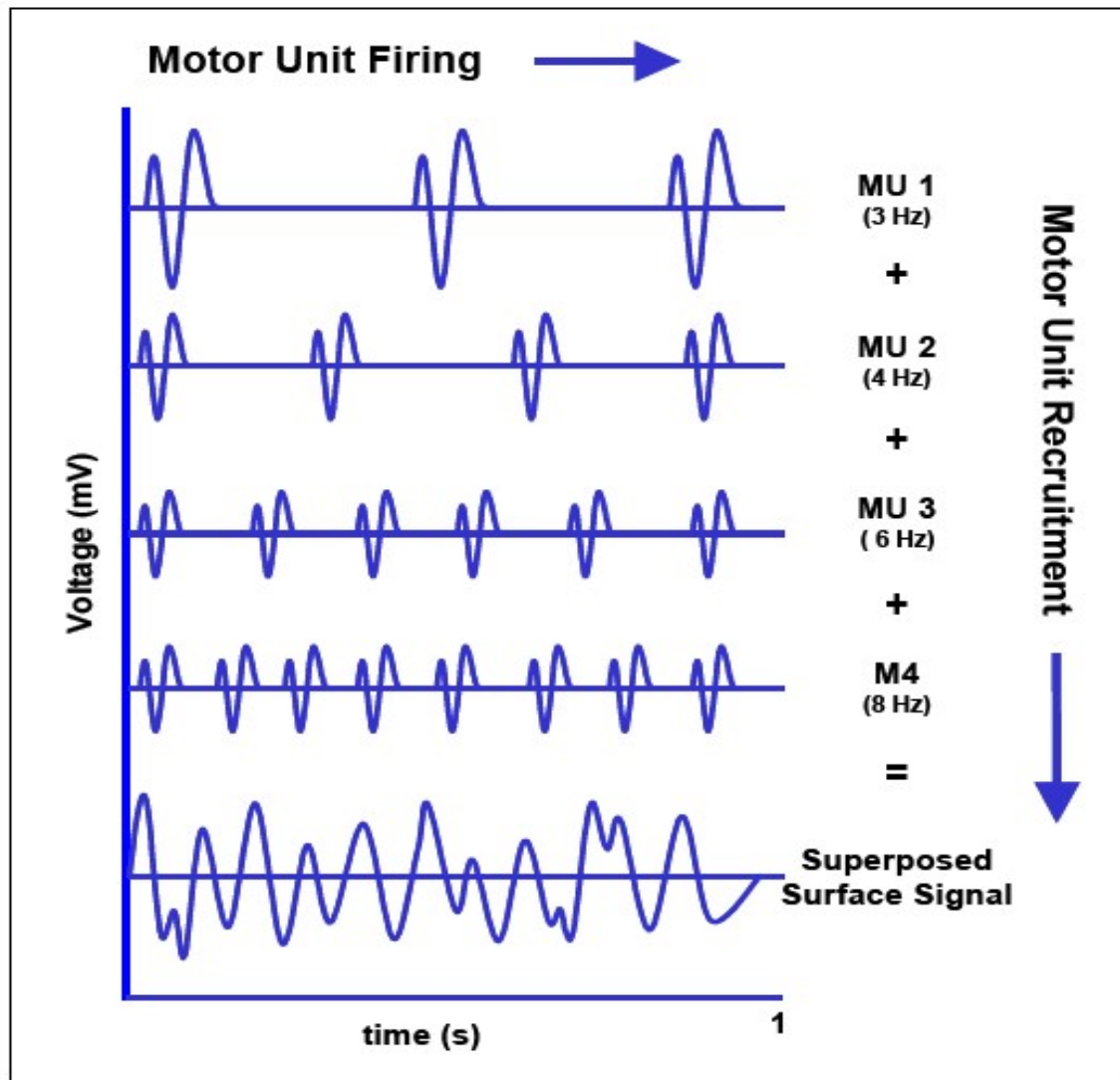
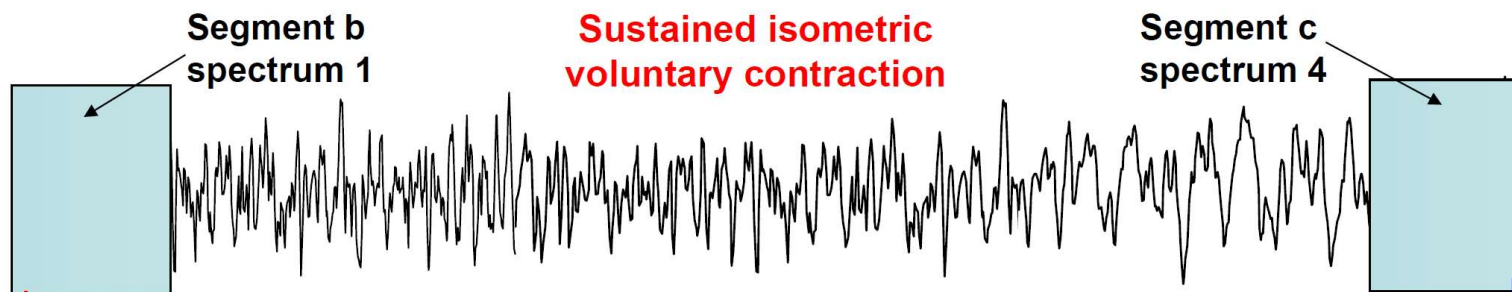
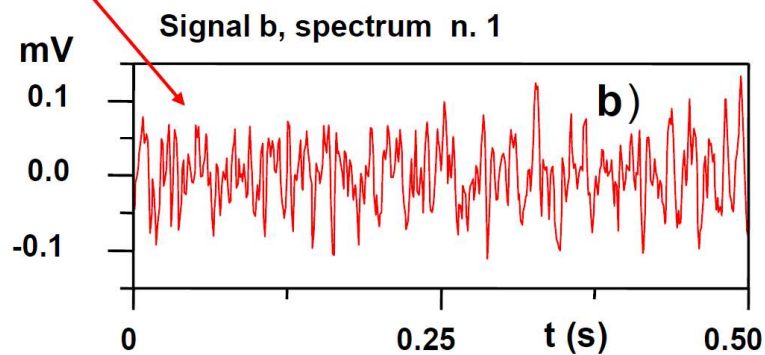
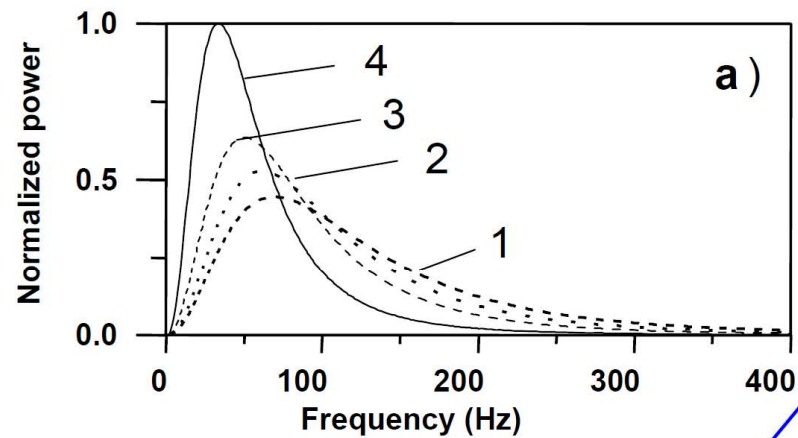


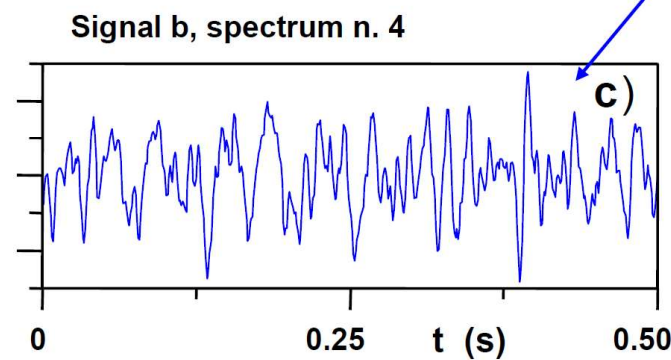
Fig.12: Recruitment and firing frequency of motor units modulates force output and is reflected in the superposed EMG signal. Adopted & modified from 7, p. 75



Spectral evolution of a "quasi" stationary EMG signal.



Beginning of the contraction



End of the contraction