

# Processamento de Sinais em Tempo Discreto

- Prof. Dr. Samuel Lourenço Nogueira



*Programa de  
Pós-Graduação em*  
**Engenharia  
Elétrica**



- Aulas passadas (Projeto de Filtro FIR)

- Fundamentos → Cap 3: WFFRS
- Exemplo completo de projeto → Cap 7: WFFRS

## Conteúdo Programático

Tópico 8

- Análise:
  - Revisão: Análise do espectro do filtro FIR
  - Resposta de filtro FIR em função da ordem
  - Teste prático

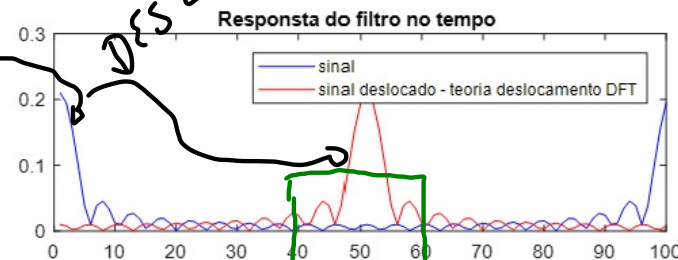
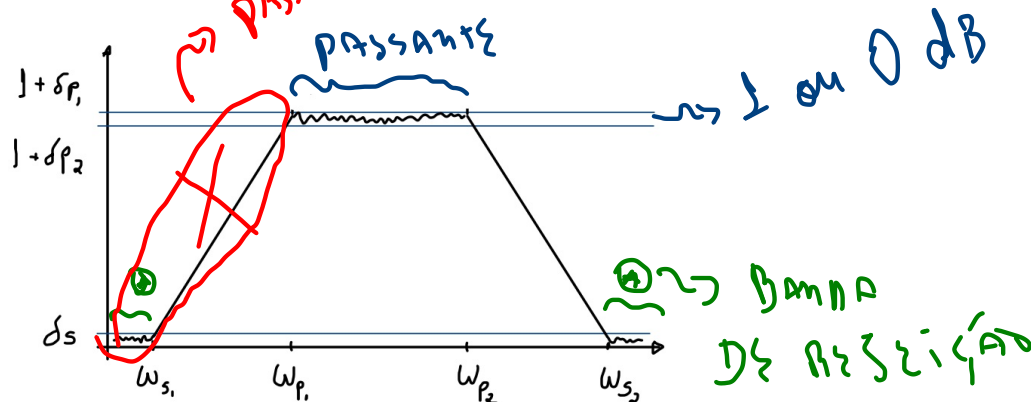
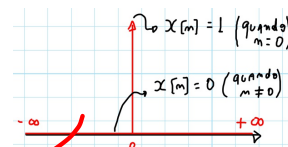
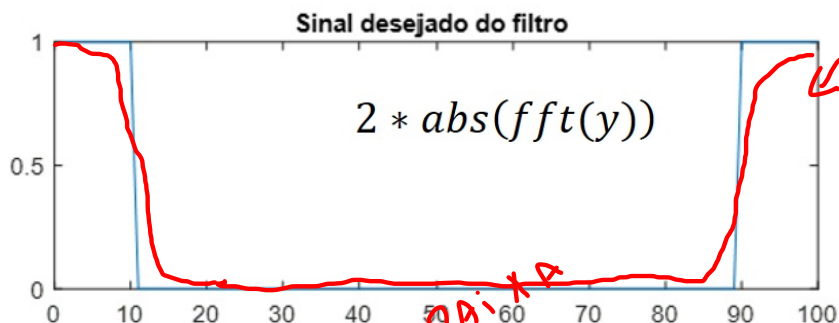
Tópico 9

Filtro IIR (Impulse Infinite Response)

# Revisão: Análise do Espectro

Vimos anteriormente que:

- Dado o espectro ideal do filtro desejado, por exemplo passa-baixa



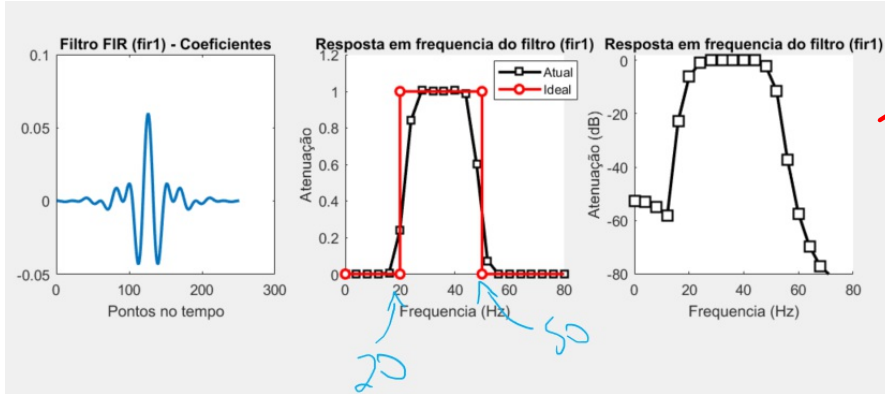
>> Topico8Exemplo1.m

idem Topico6Exemplo1.m

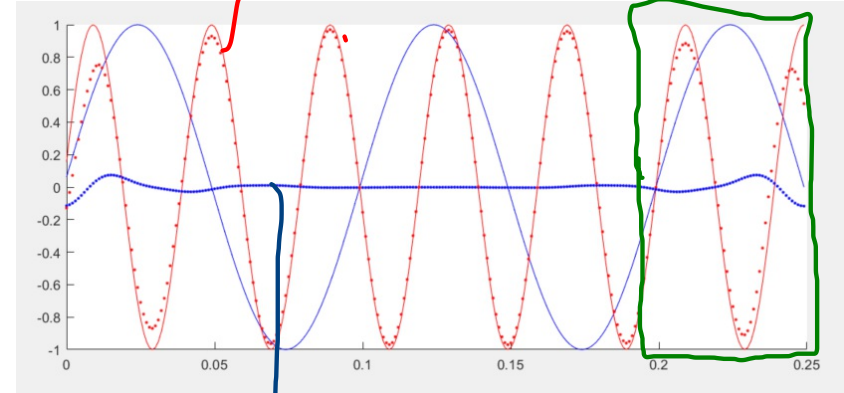
{ Duas formas de obter a resposta em frequência!

# Ordem do filtro FIR

>> Topico8Exemplo2.m  $\leadsto f_c = [20 \ 50]$



ordem  $\leadsto$  1/2 Nyquist  
25 Hz (comp.)



Handwritten FIR filter equation and matrix representation:

$$y[n] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 4 \\ 1 & 4 & 3 \\ 4 & 3 & 0 \\ 3 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.2 \\ 0.1 \end{bmatrix}$$

Handwritten notes:

- 16 MHz (written twice, once for each input vector)
- $x[n-2]$  and  $x[n-1]$  are indicated for the first two columns of the matrix.

$\leadsto$  10 Hz (Atenuado)

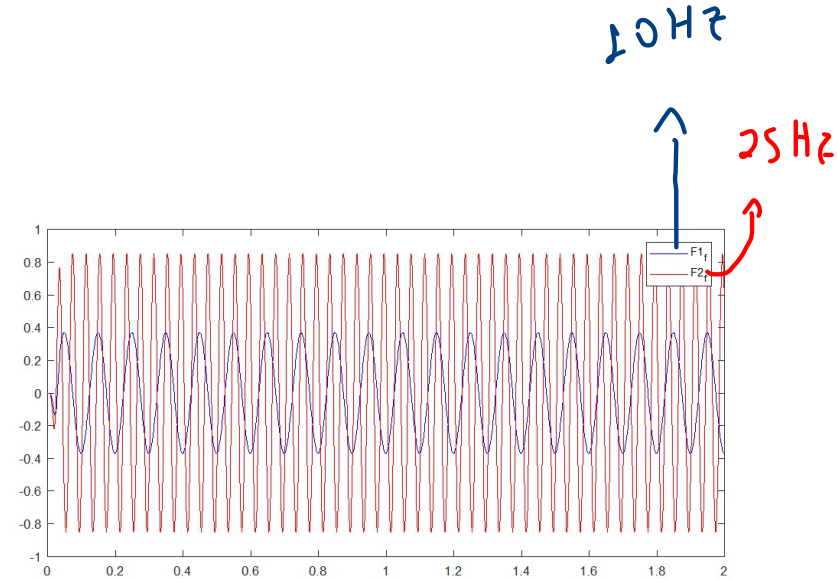
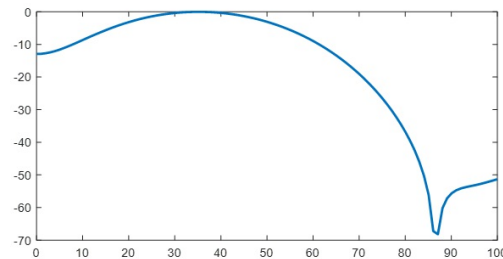
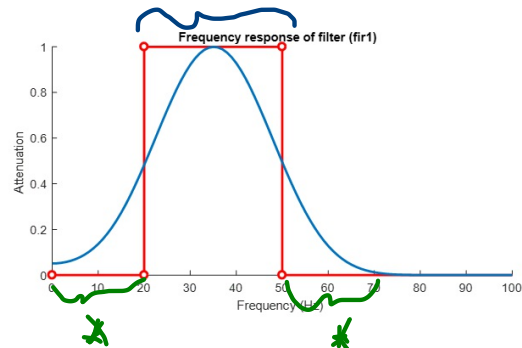
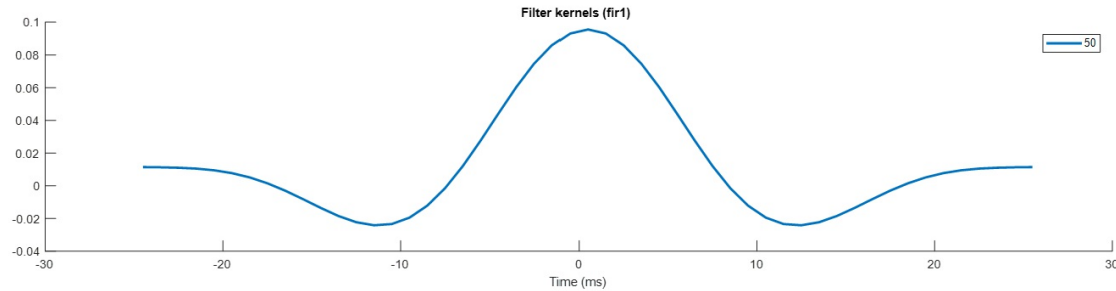
# Ordem do filtro FIR

>> Topico8Exemplo2.m *so p/ esse caso!*

1) Ordem pequena para o filtro, faz com que o filtro possua bandas passantes e de rejeição bem alongadas. Ou seja:

- Possui baixa atenuação de sinal fora da faixa de interesse  $\leadsto f_c = 10\text{ Hz}$
- Distorce o sinal dentro da faixa de interesse.

*25 Hz*

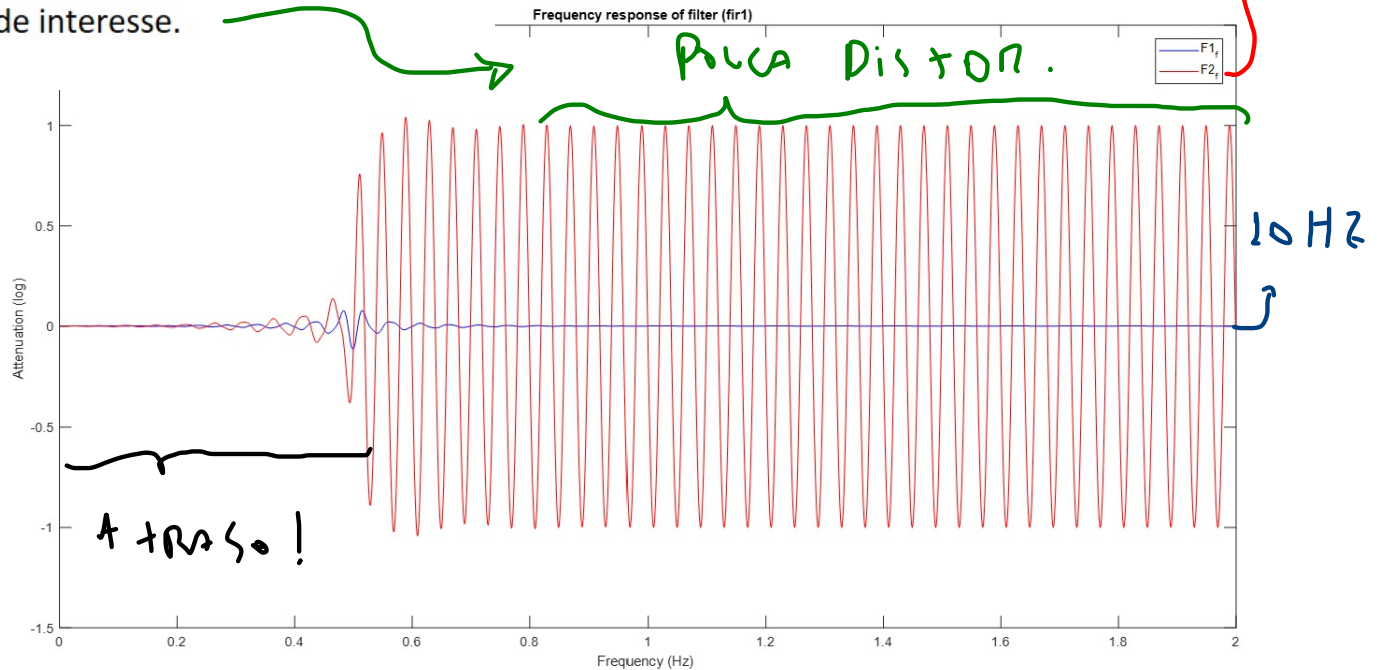
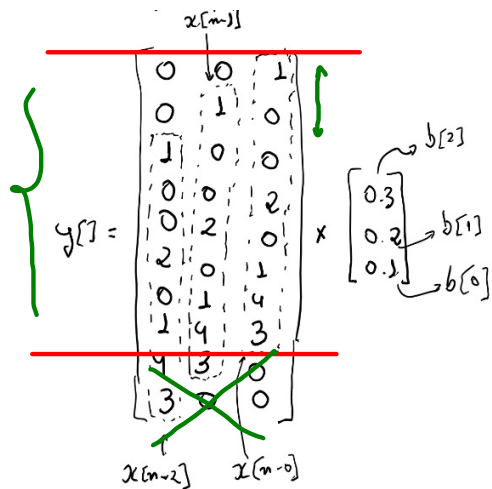


# Ordem do filtro FIR

>> Topico8Exemplo2.m

2) A medida que a ordem do filtro aumenta, faz com que as bandas passantes e de rejeição sejam cada vez melhores. Ou seja:

- Possui grande atenuação de sinal fora da faixa de interesse
- Pouca distorção do sinal dentro da faixa de interesse.
- Aumenta o atraso do filtro

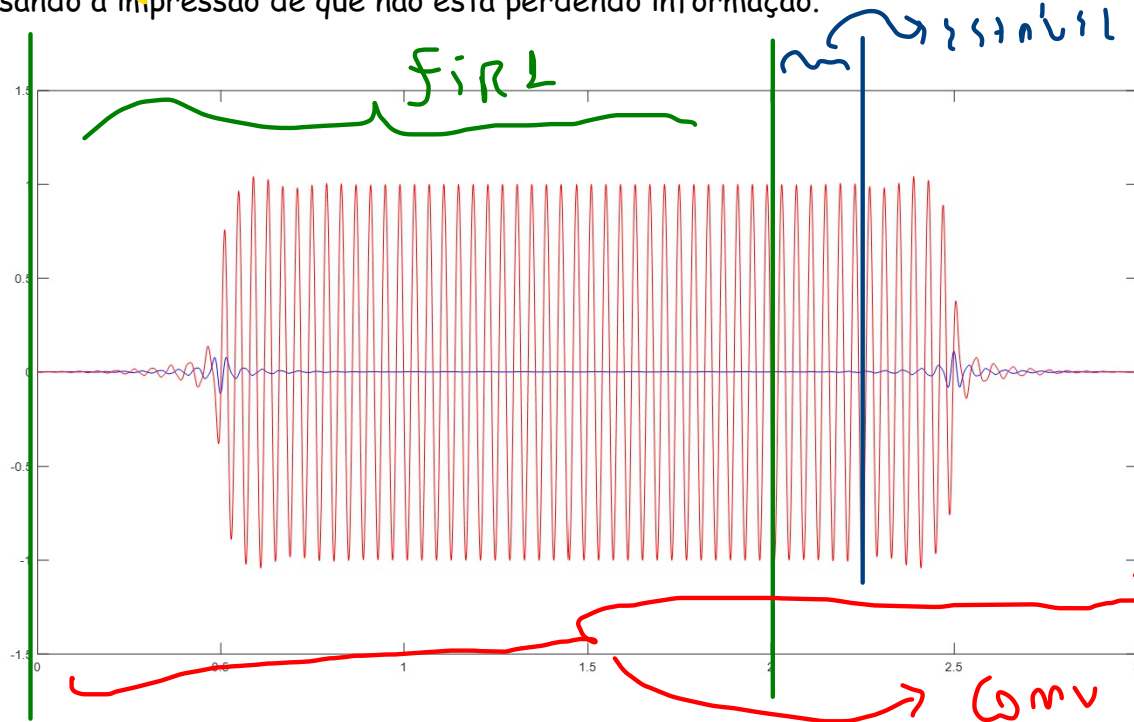


# Ordem do filtro FIR

>> Topico8Exemplo2.m

E se completar com zeros o sinal no tempo, para não perder informação?

Resposta: ao completar com zeros desde que o sinal seja estacionário, o mesmo manterá boa parte da repetição do sinal. Causando a impressão de que não está perdendo informação.



\* WIDADS!!!

completa do  
com zeros

conv (x, h)



# Ordem do filtro FIR

>> Topico8Exemplo2.m

No entanto, a medida que a ordem do filtro aumenta, aumenta-se o tempo computacional para filtrar o sinal. Na prática, ordens muito grandes, significa que seu processamento pode demorar muito tempo para ser realizado.

} Supomos  $P \ll L$   
Onde  $L$  é



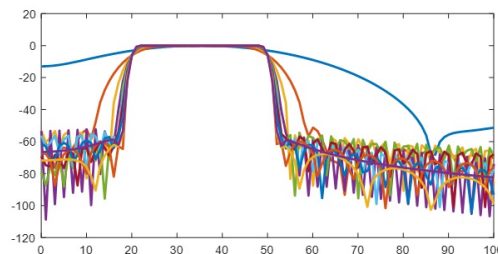
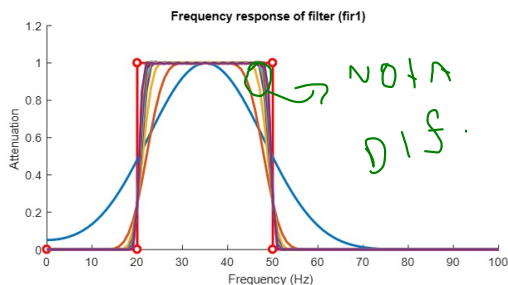
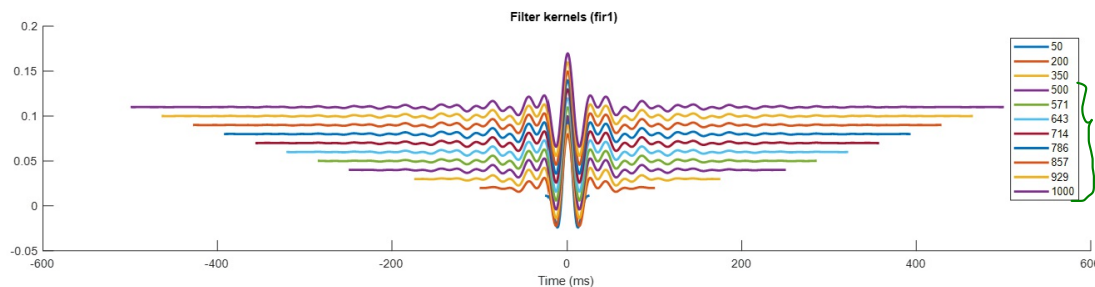
~ melhora  
muito

2 s  
(fil + P)

P/

1/2  
(sinal)

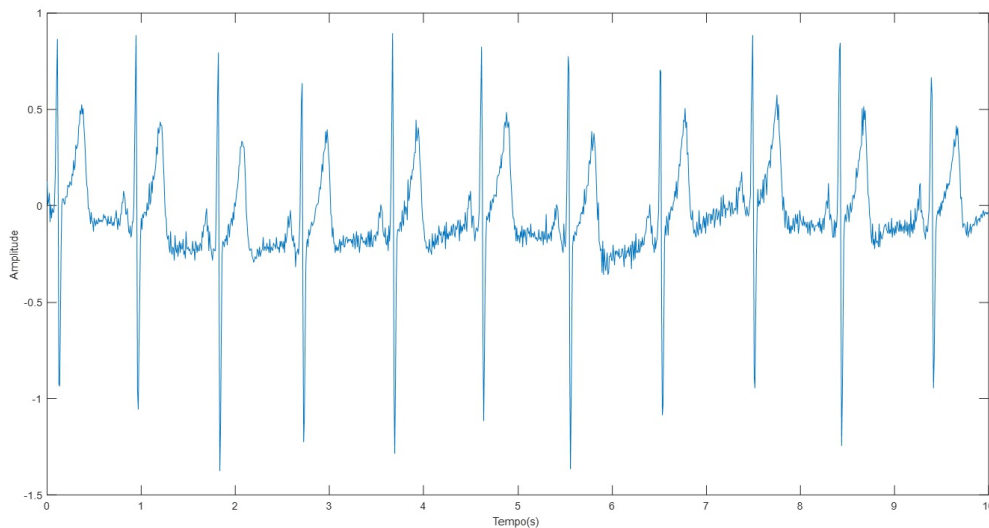
Demora bastante!



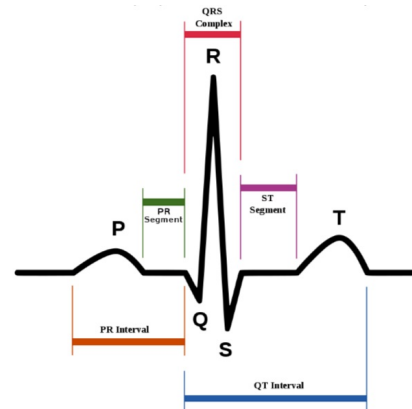


# Teste Prático

- **ECGData: mesmo do EPC6**



Qual filtro você proporia, de forma a manter o padrão QRS, e remover o ruído de medida: passa-baixa, passa-faixa, etc?



Informações da base de dados:

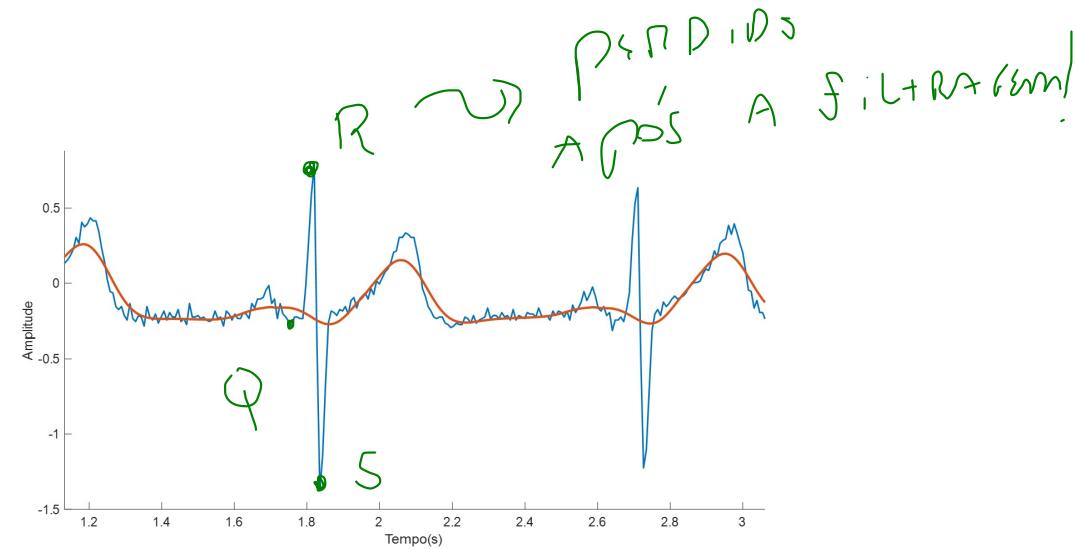
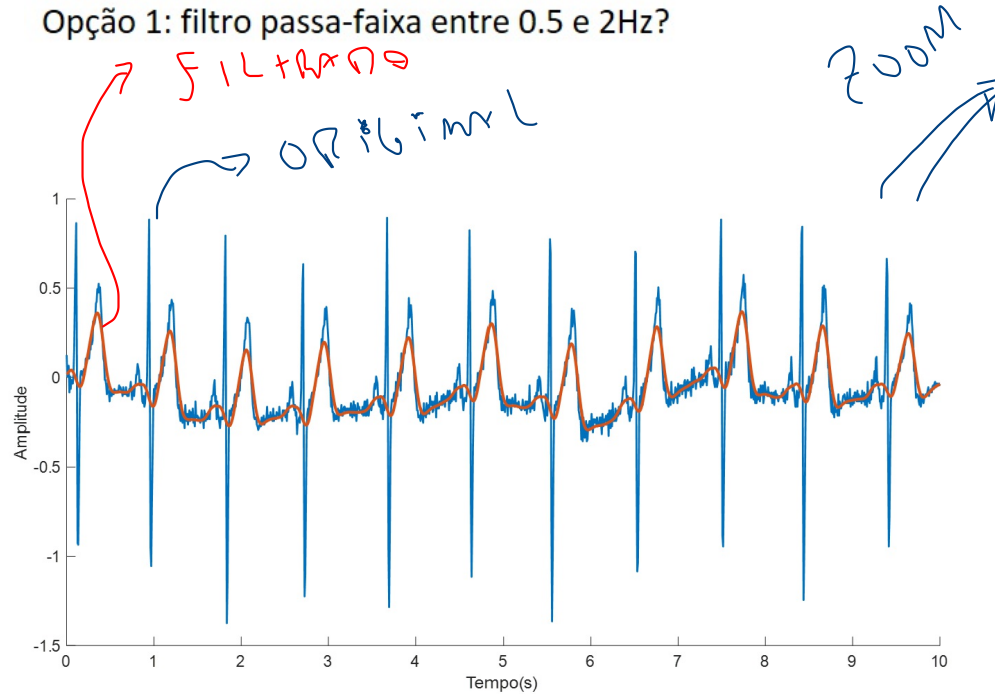
Este vetor contém o dado representante do sinal eletrocardiográfico de uma pessoa saudável. O sinal foi amostrado a 128Hz, e sabe-se da literatura que o batimento cardíaco de uma pessoa saudável deve estar entre 60 e 100 batimentos/minuto, ou seja, de 1Hz à 1.67Hz.

# Teste Prático

- ECGData: mesmo do EPC6

>> Topico8Exemplo3.m %PARTE 2

Opção 1: filtro passa-faixa entre 0.5 e 2Hz?



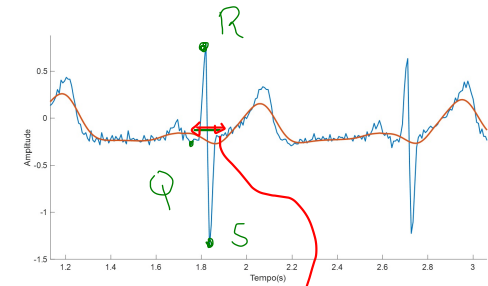
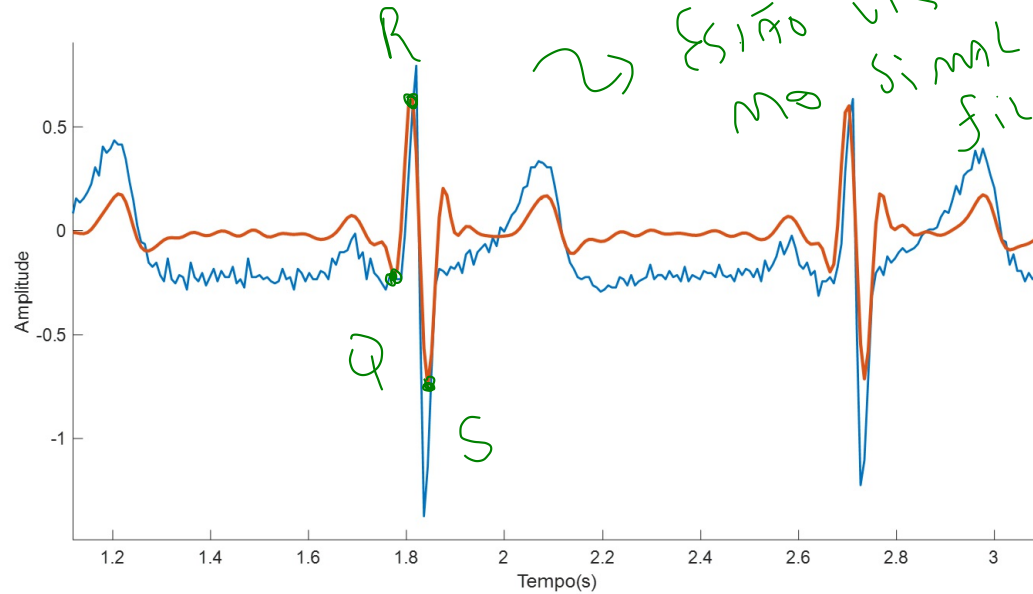
# Teste Prático

- ECGData: mesmo do EPC6

>> Topico8Exemplo3.m %PARTE 3

Opção2: Perceba que o QRS, lembra quase um seno (veja qual o período deste):

- Entre 10 e 17Hz
- Filtro passa-baixa entre 5 e 20Hz?



Período do Sinal!

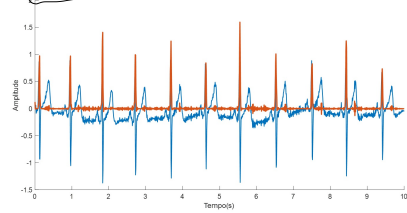
## Teste Prático

- ECGData: mesmo do EPC6

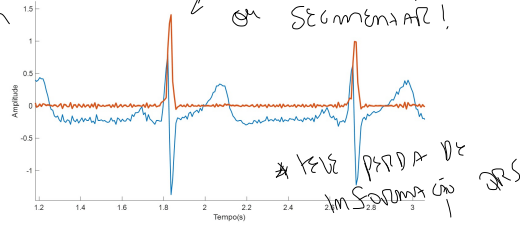
>> Topico8Exemplo3.m %PARTE 4

Teager-Kaiser energy operator

$$y_t = x_t^2 - x_{t-1} \cdot x_{t+1}$$



Zoom



○ Em EMG: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2945630/> (open-access)

○ Operador originalmente proposto:

- Kaiser JF (1990) On a simple algorithm to calculate the 'energy' of a signal. In: IEEE International Conference Acoustic Speech Signal Process. Albuquerque, pp 381–384
- Kaiser JF (1993) Some useful properties of Teager's energy operators. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. pp 149–152