



# Análise no Domínio da Frequência

*Processamento de Sinais e Instrumentação  
para a Análise do Movimento Humano*

Prof. Dr. Renato de Moraes

# Os 4 componentes essenciais de um sinal que varia no tempo

Frequency:  $f$

$a$



Amplitude:  $a$

$b$



Offset:  $a_0$

$c$



Phase angle (shift):  $\theta$

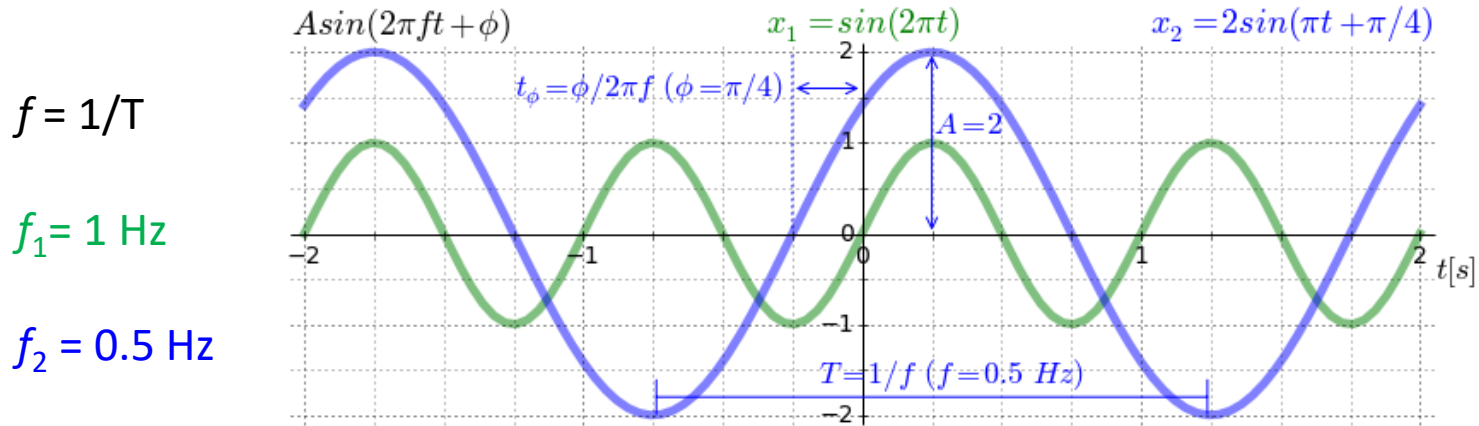
$d$



# Frequência

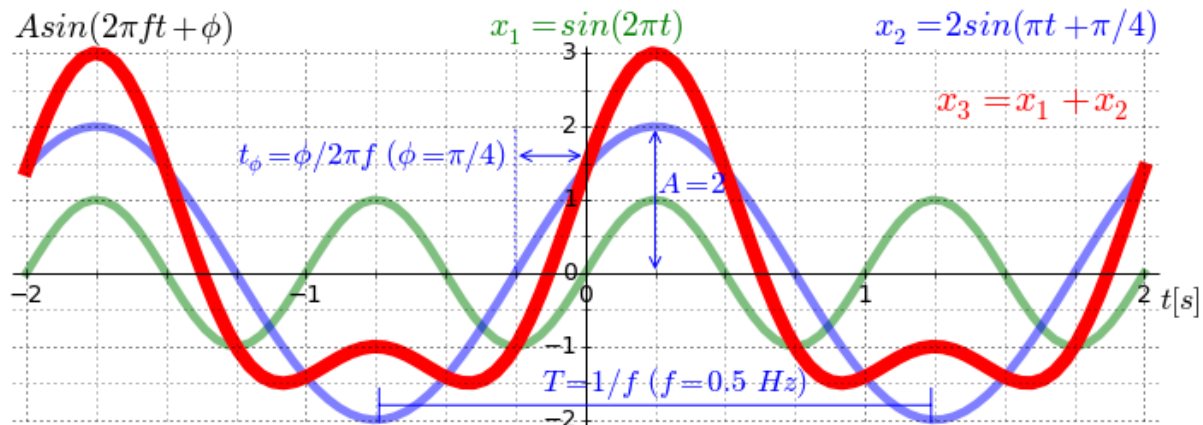
- Representa quão rapidamente o sinal oscila.
- Usualmente medido em ciclos por segundo ou hertz (Hz).
- $1 \text{ Hz} = 1 \text{ ciclo por segundo}$

Amplitude ( $A$ ), frequency ( $f$ ), period ( $T$ ), phase ( $\phi$ )

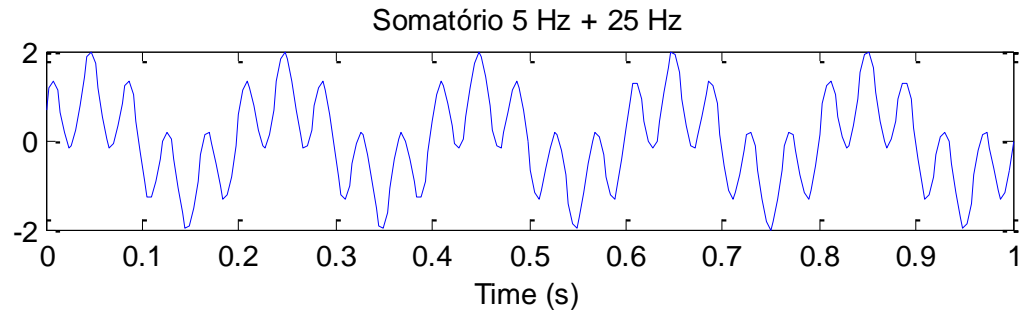
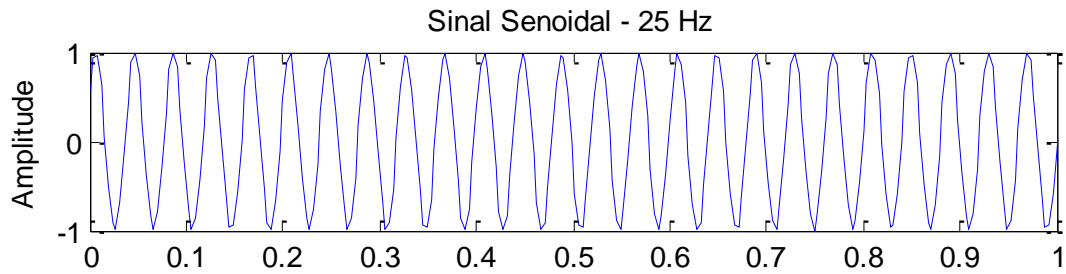
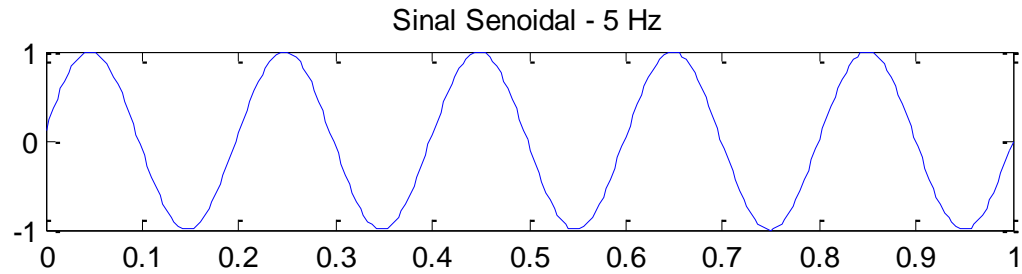


Qual deve ser a forma da somatória das duas curvas?

Amplitude ( $A$ ), frequency ( $f$ ), period ( $T$ ), phase ( $\phi$ )



# Outro exemplo



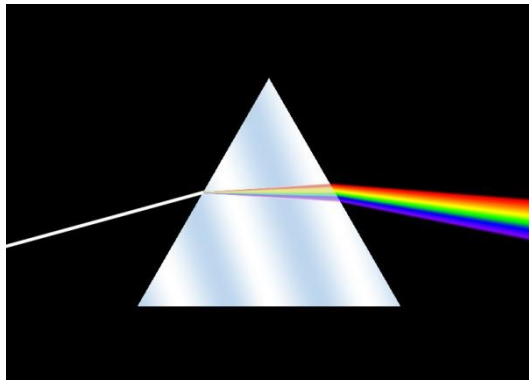
# Análise de frequência

- Todos os sinais que medimos e analisamos tem um conteúdo de frequência característica

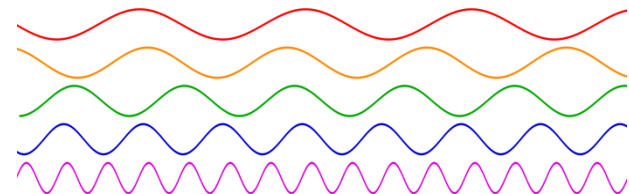
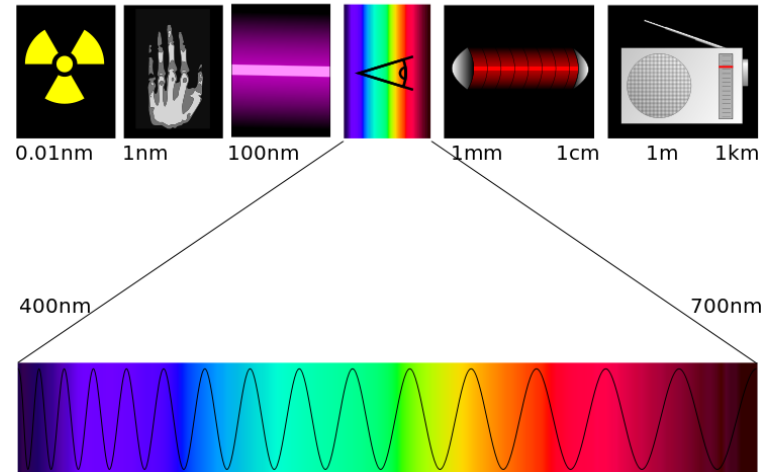
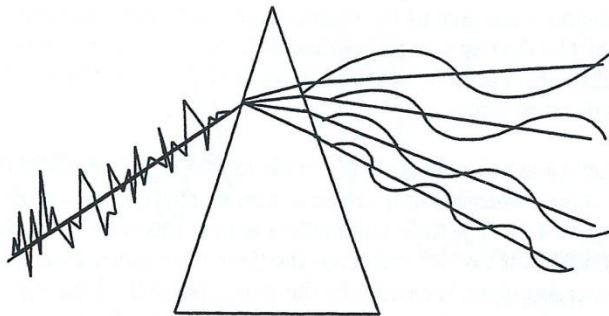
↓  
Espectro do sinal

↓  
*Representação gráfica de todas as frequências do sinal, do mais baixo ao mais alto*

# Prisma como uma analogia para a análise de frequência

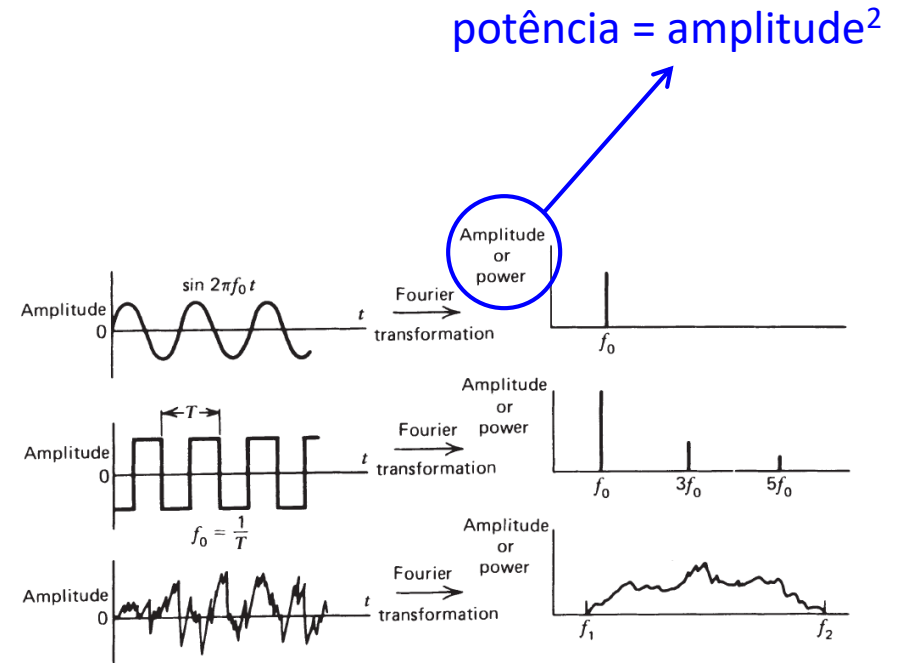


- ✓ *Prismas dispersivos são usados para separar a luz em suas cores de espectro.*
- ✓ *A luz branca entrando no prisma é uma mistura de diferentes frequências*



# Conteúdo de Frequência

- Qualquer sinal pode ser discutido em termos de seu conteúdo de frequência
  - Uma forma de onda senoidal tem uma única frequência
  - Qualquer outra forma de onda pode ser a soma de ondas seno e cosseno





# **Método de Periodograma de Welch**

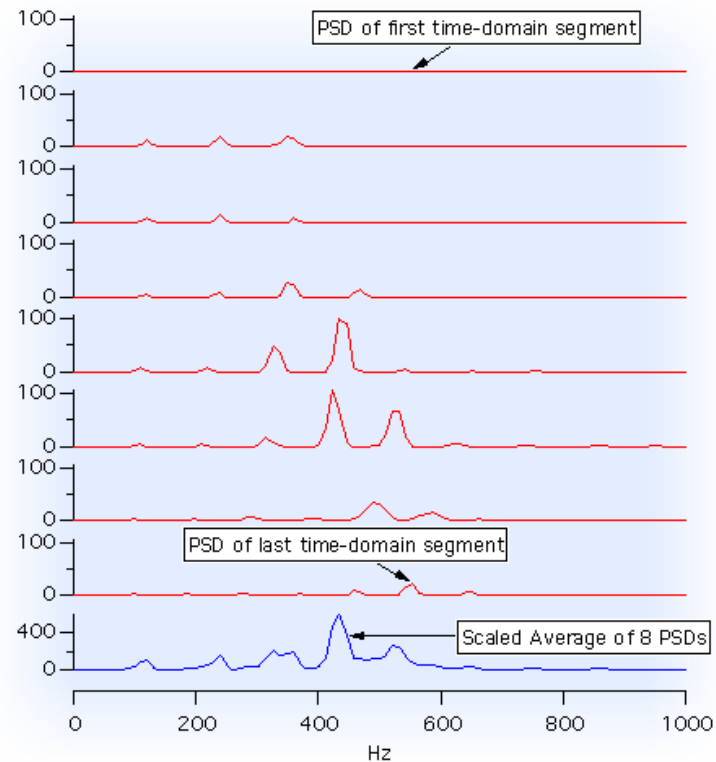
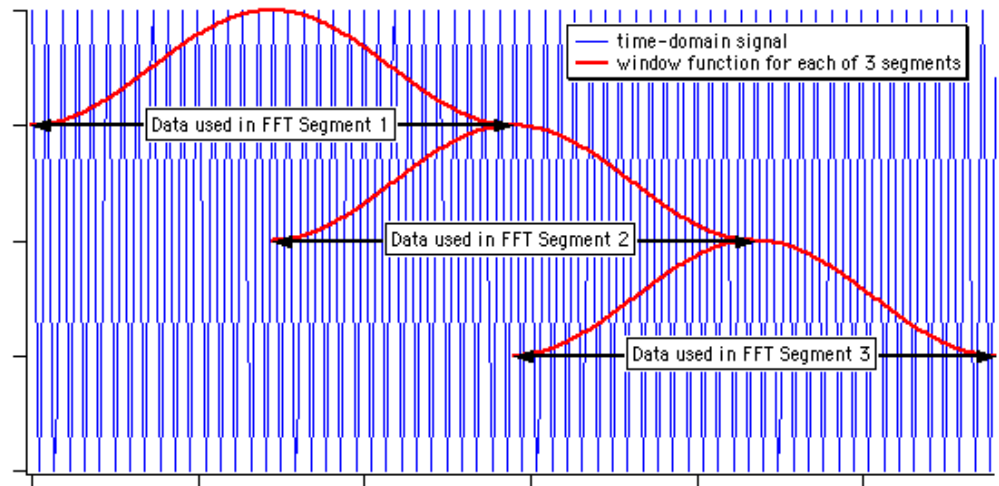
# Método de Periodograma de Welch

## Janelando o sinal

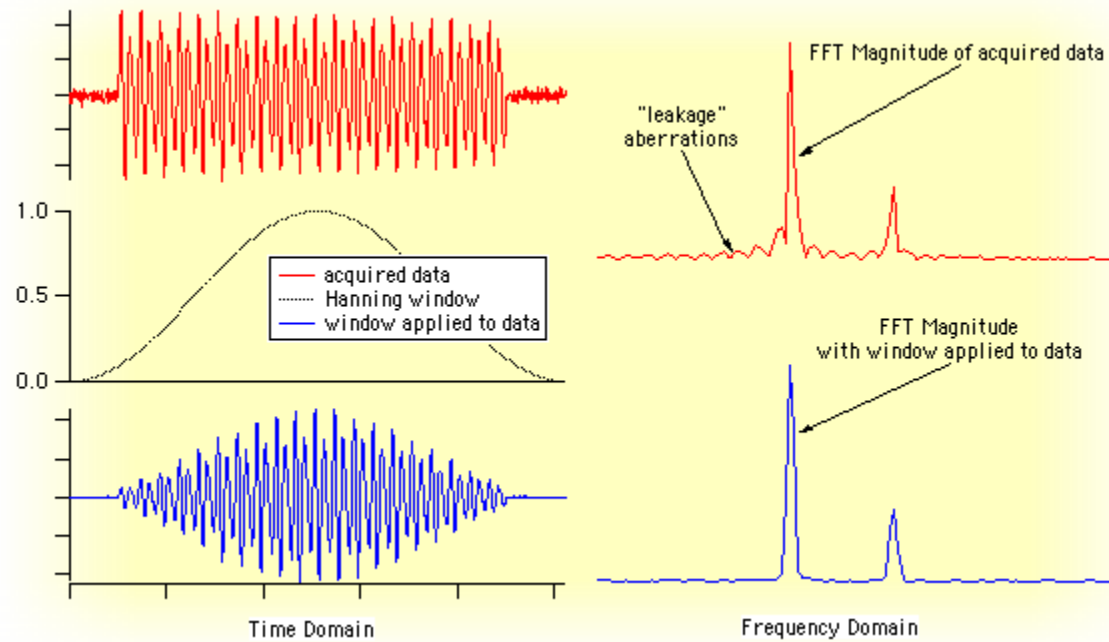
Janelamento elimina a contribuição do sinal próximo do fim do segmento.

A solução é sobrepor os segmentos.

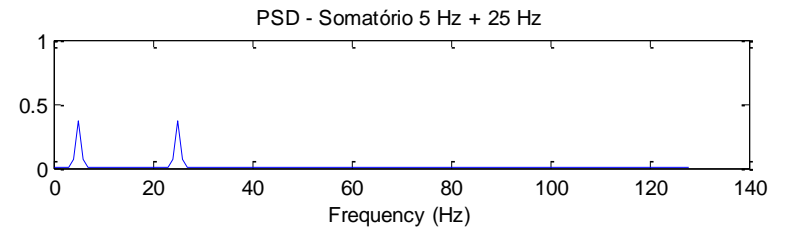
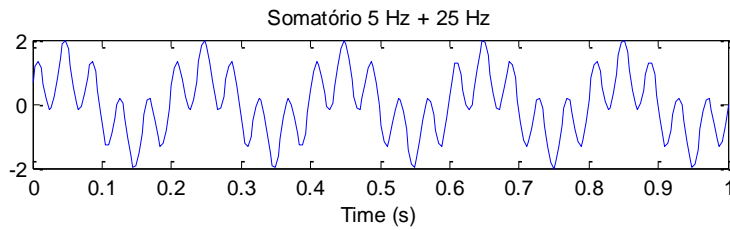
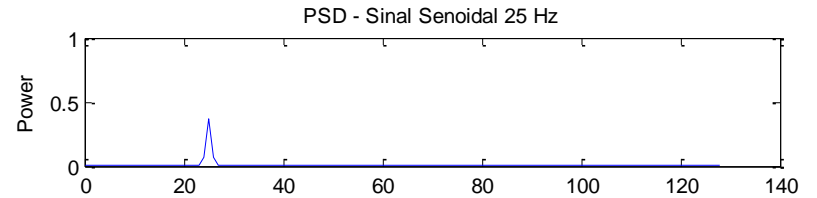
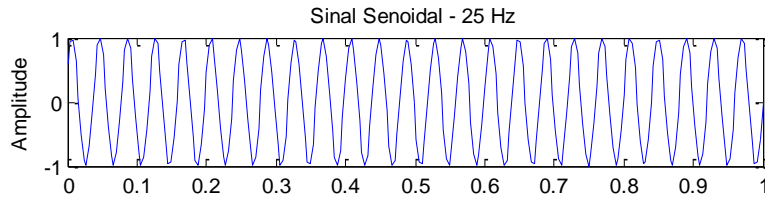
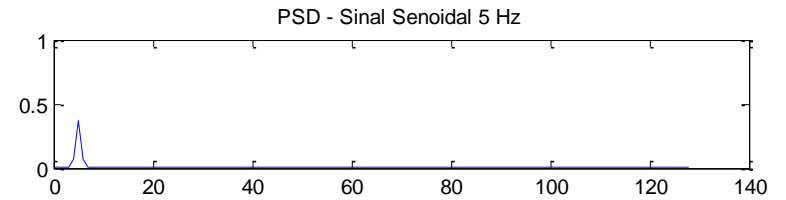
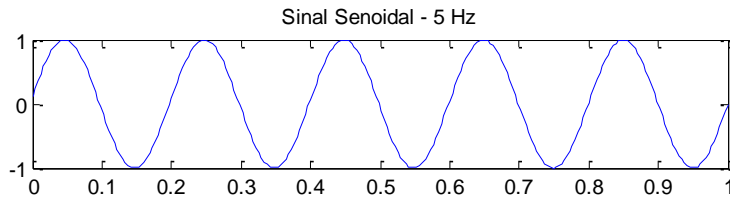
Exemplo do cálculo da média de 8 periodogramas dos segmentos (window) de dados janelados:



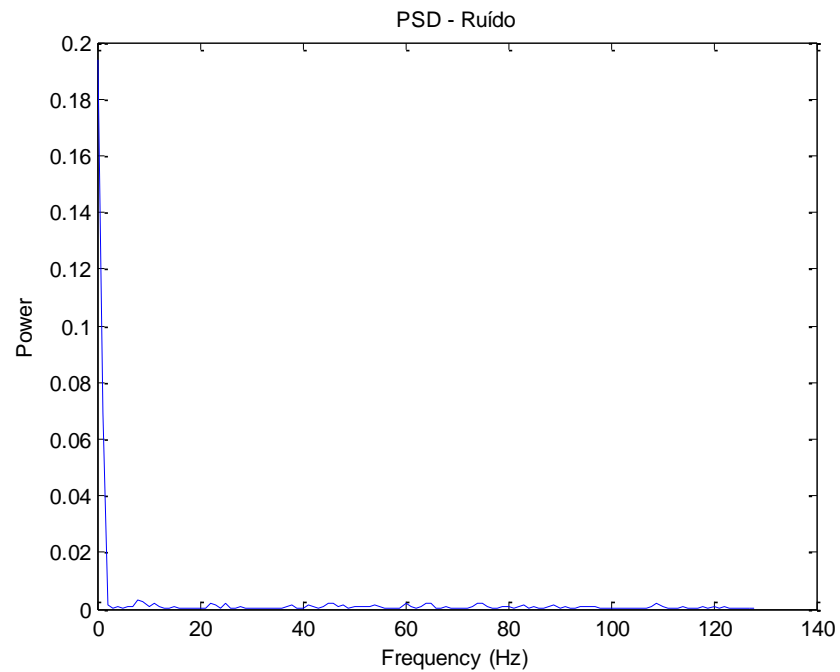
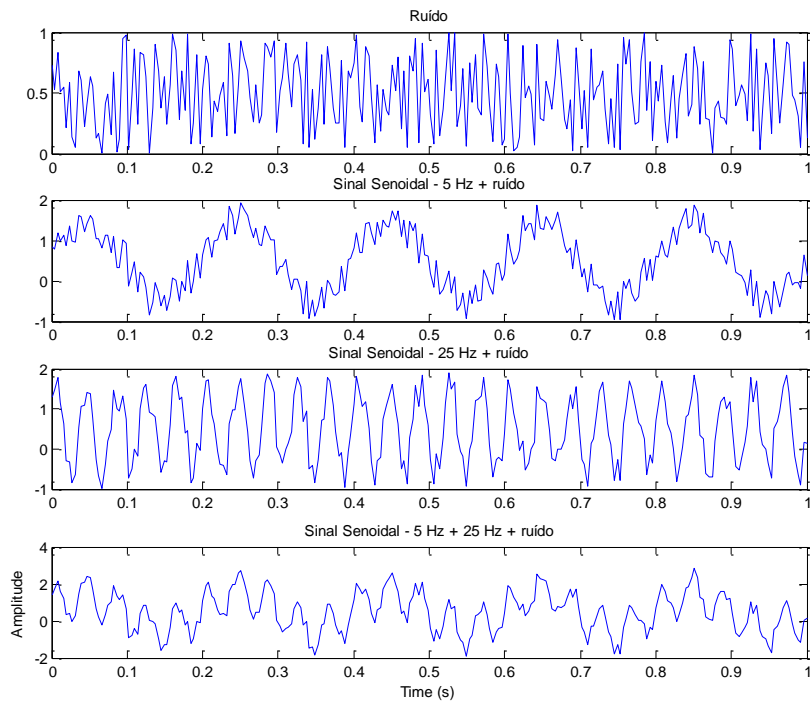
# Janelamento



# Exemplo

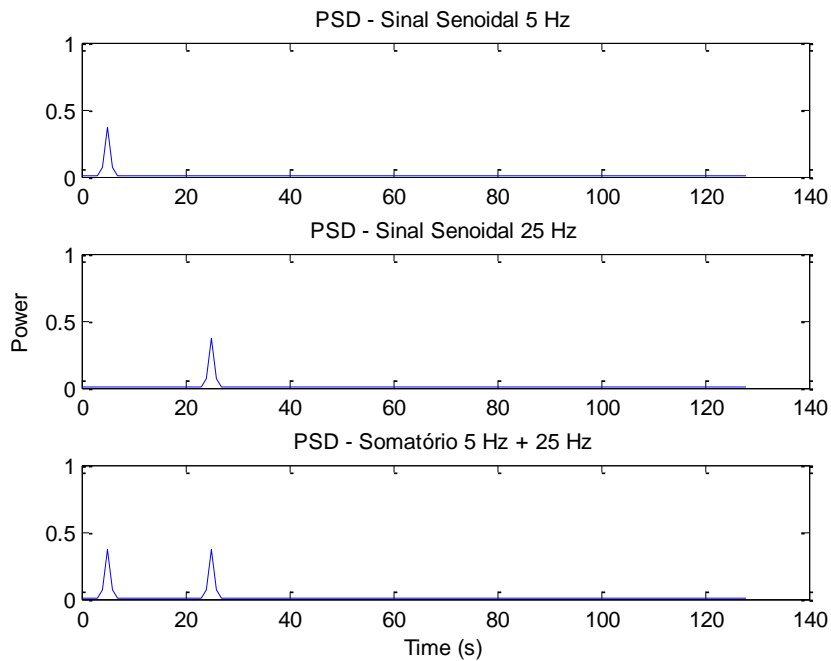


# Análise Espectral

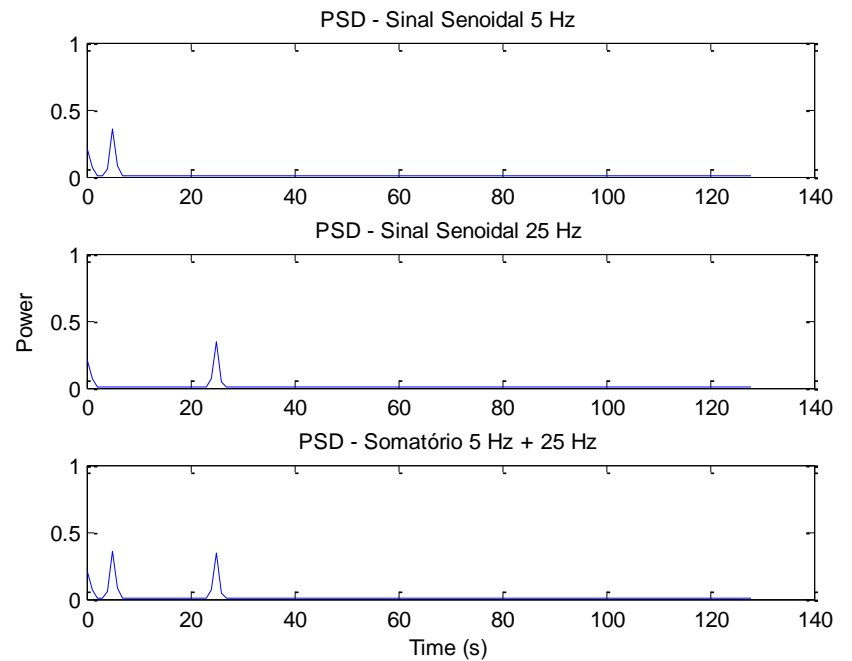


# Análise Espectral

## Sem ruído

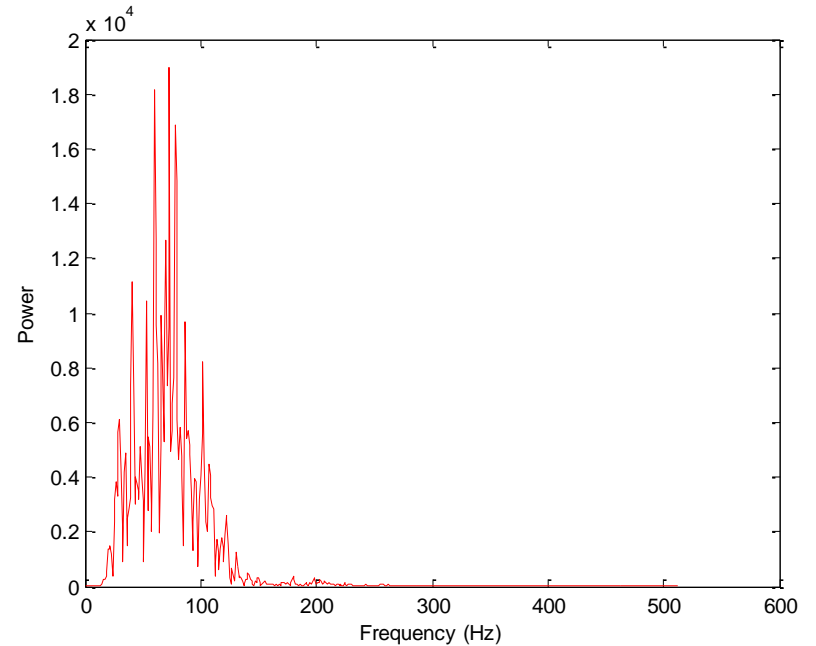
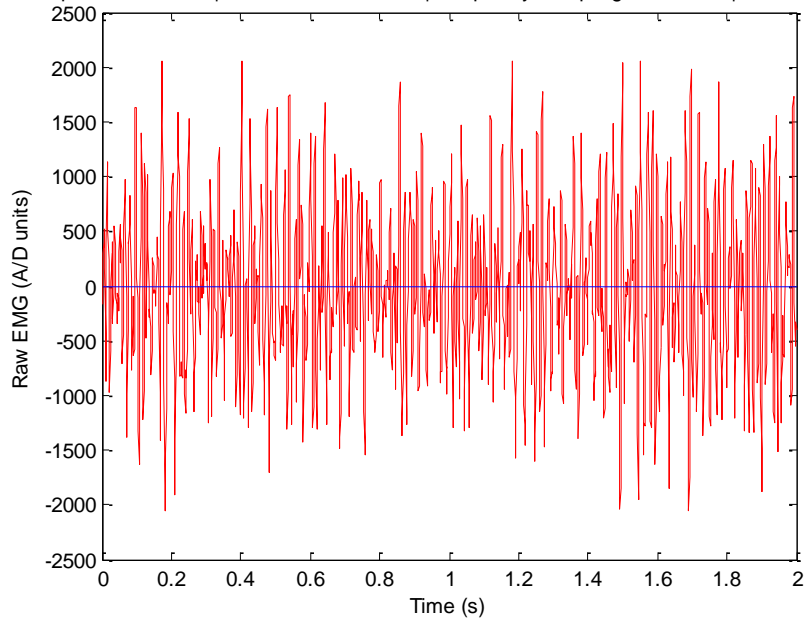


## Com ruído



# PSD de um sinal EMG

Biceps Brachii EMG | Isometric contraction | Frequency sampling = 1024 Hz | Duration = 2 s



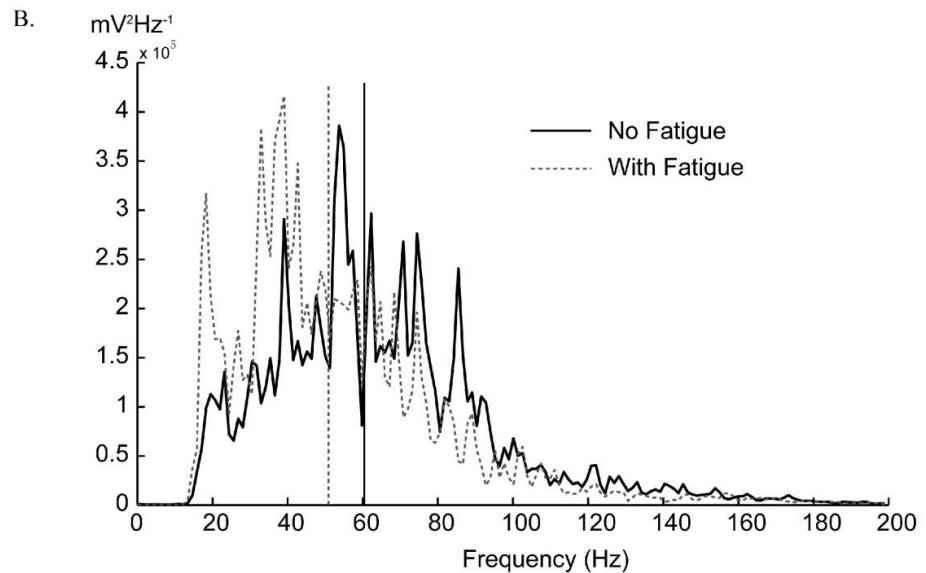
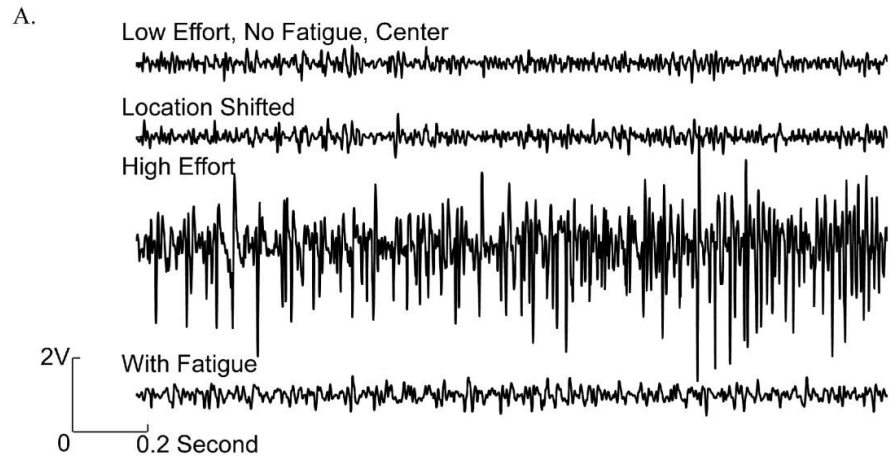
# Análise de Frequência para detecção de fadiga muscular

Na presença de fadiga, o espectro de potência da atividade EMG muda em direção as frequências mais baixas.

## Frequência mediana

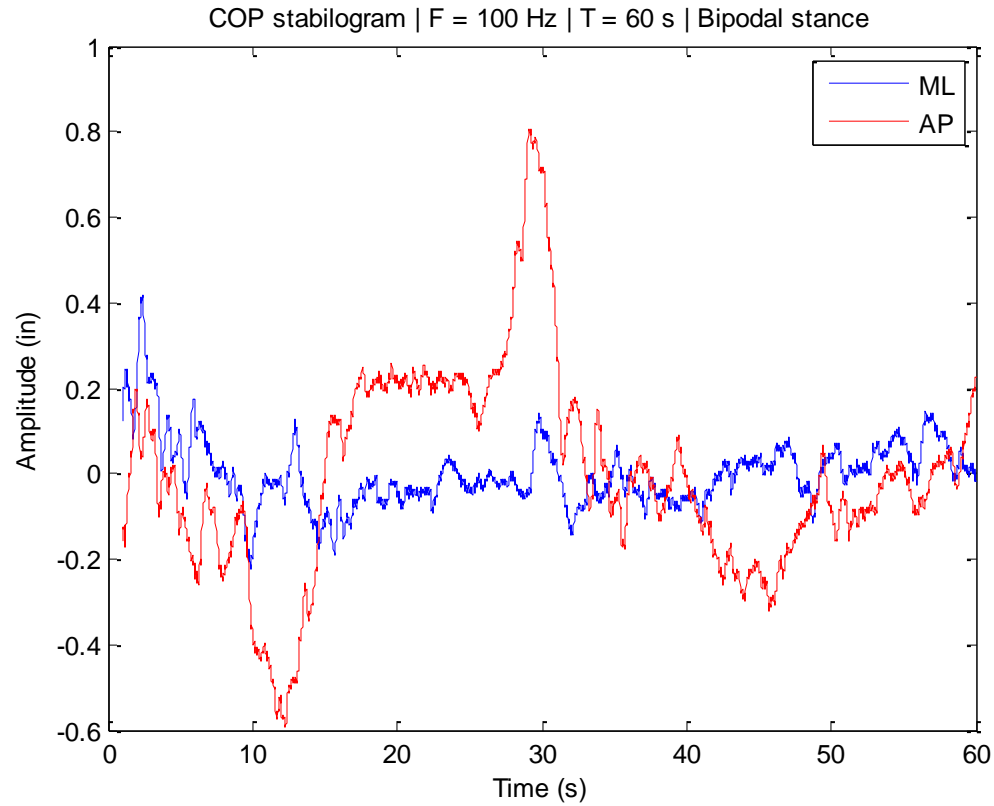
Sem fadiga: 60.4 Hz

Com fadiga: 50.8 Hz





# Centro de Pressão



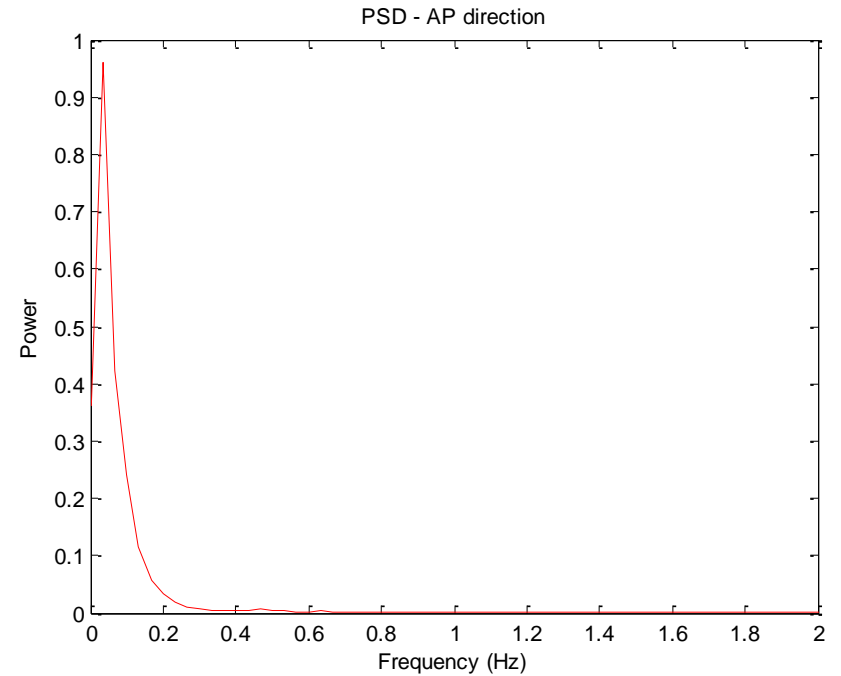
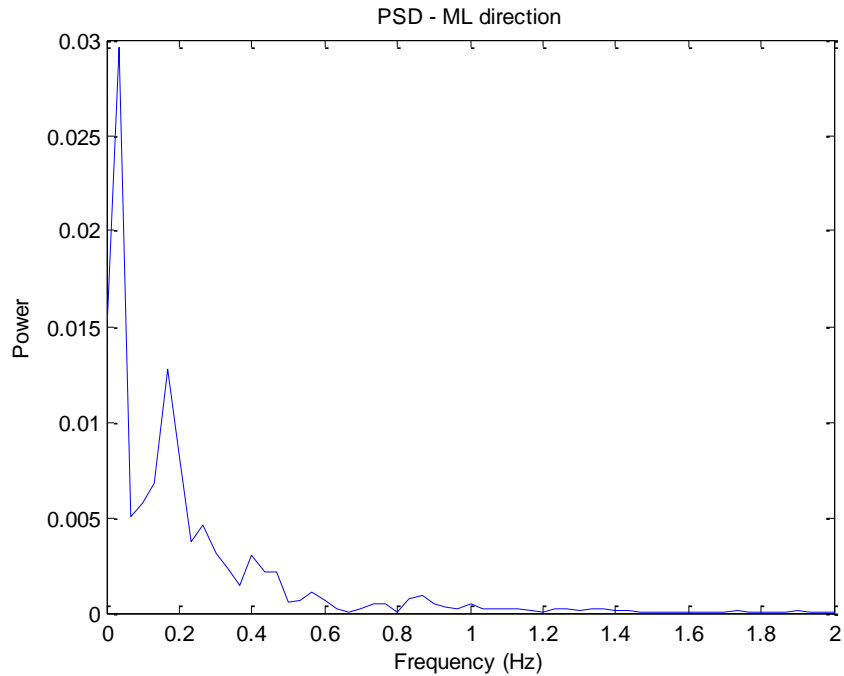
# Método de Periodograma de Welch

- $[p,f] = \text{pwelch}(sg, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, F_s);$
- Argumentos de entrada
  - window
    - Divide  $sg$  em seções de comprimento igual ao valor atribuído
  - noverlap
    - Deve ser um número inteiro menor do que o valor atribuído a  $\text{window}$
  - nfft
    - Especifica o número de pontos usados para calcular o PSD
    - Igual ao valor atribuído a  $\text{window}$
  - $F_s$ 
    - Frequência de amostragem do sinal (Hz)

# Método de Periodograma de Welch

- $[p,f] = \text{pwelch}(sg, \text{window}, \text{noverlap}, \text{nfft}, F_s);$
- Argumentos de saída
  - p
    - Densidade espectral ou *power spectral density* (PSD)
  - f
    - Vetor com os valores de frequência

# PSD do COP



```
Fs = 100;  
window = ceil(length(x)/2);  
nfft = window;  
noverlap = ceil(window/2);  
[Pxx,F] = pwelch(x,window,noverlap,nfft,Fs);
```

# Variáveis obtidas à partir do PSD

```
>> [m,peak] = max(p)
```

```
>> Fpeak = f(peak); % frequência pico
```

```
>> area = cumtrapz(f,p)
```

```
>> Find50 = find(area>=.50*area(end))
```

```
>> F50 = f(Find50(1)) % frequência mediana
```