

# PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Prof. Claudio Coutinho

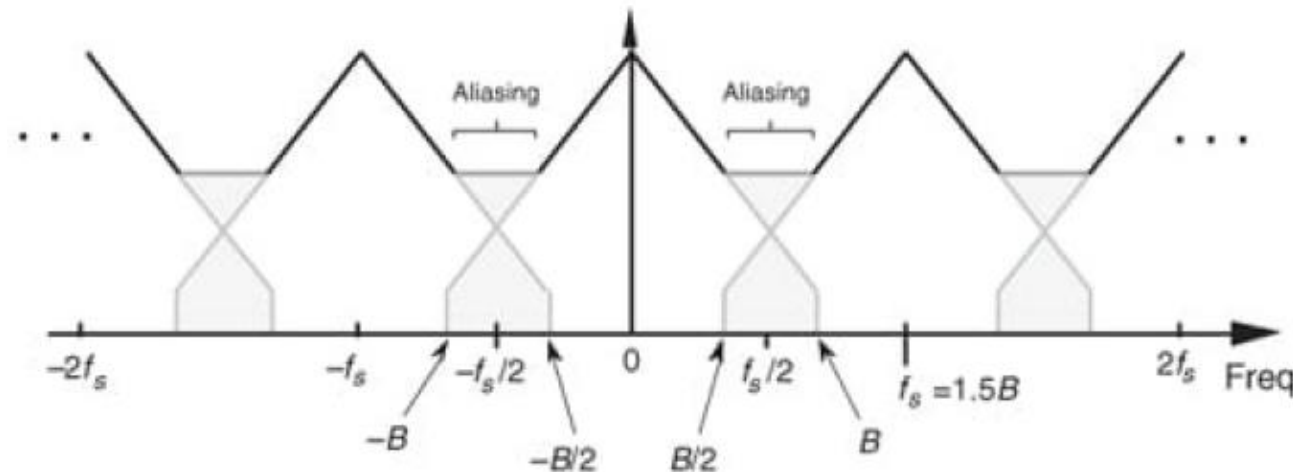
Turma EC  
2018

# Aula 07

## Amostragem (Cont.)

# Aliasing – Cont.

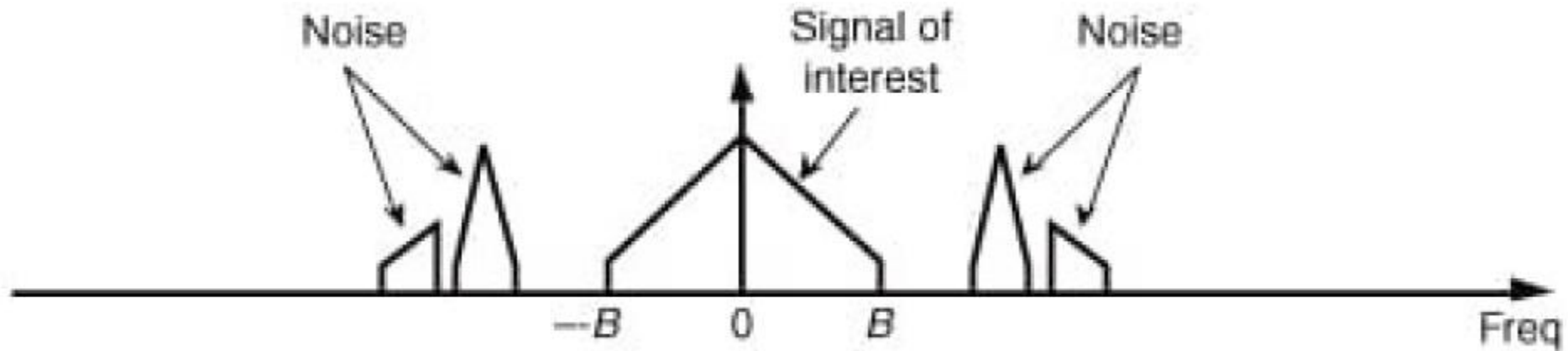
- A partir do exemplo da aula passada:



- A necessidade de que  $f_s/2 > B$  ou  $f_s > 2B$  é chamada de **critério de Nyquist**
- Na imagem, por exemplo, foi considerado  $f_s = 1.5B \text{ Hz}$

## Aliasing – Cont.

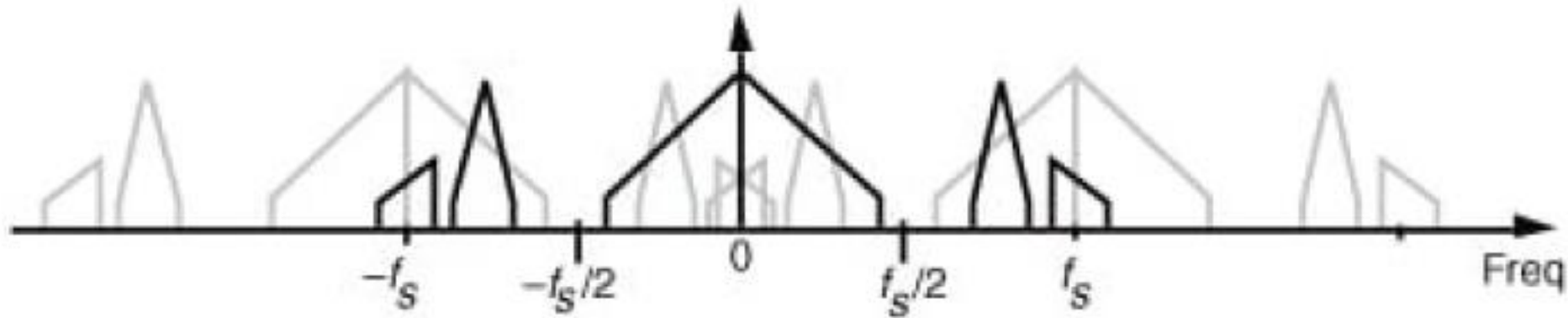
- Consideremos agora um sinal de banda  $B$  com *ruído*



- Se amostrarmos o sinal com o *critério de Nyquist*, todo o espectro do sinal será compreendido
- Mas a energia do ruído acaba entrando na banda de interesse do espectro

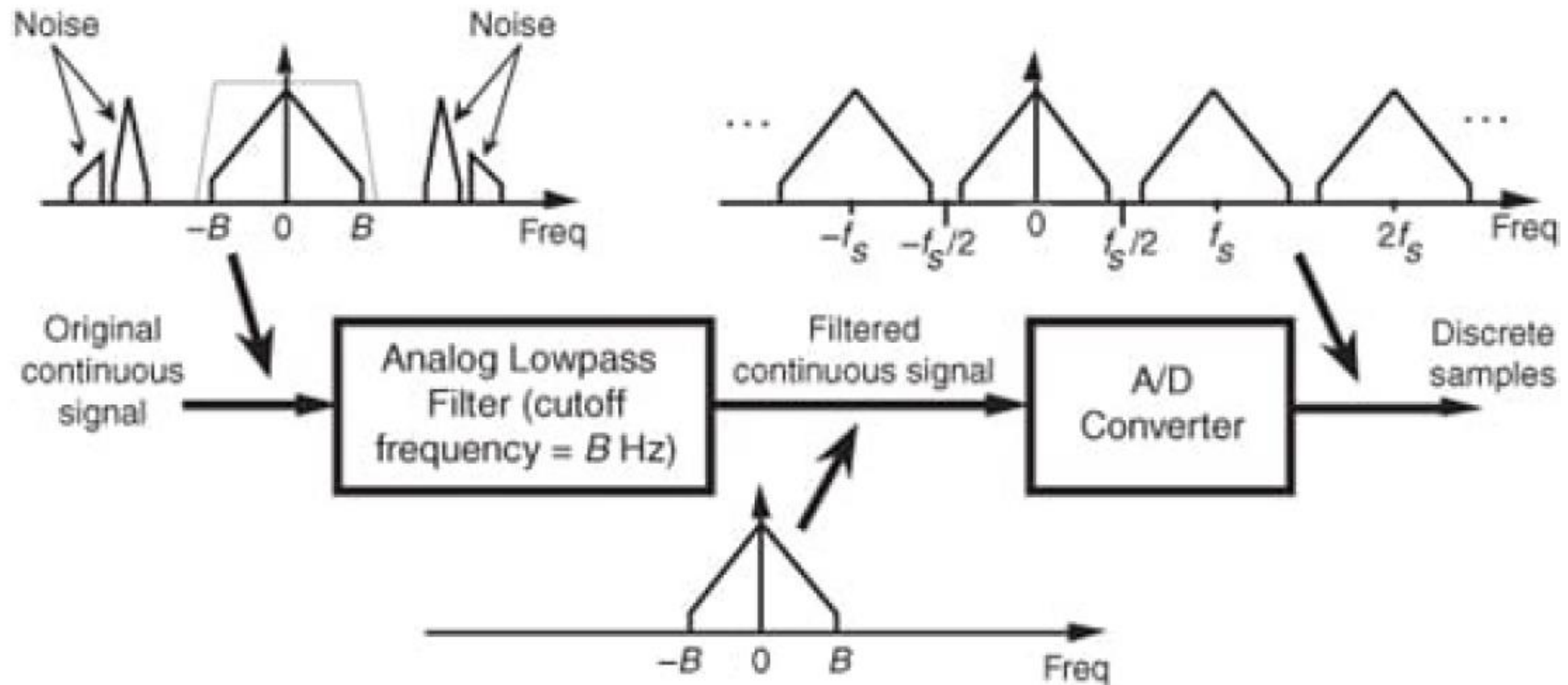
## Aliasing – Cont.

- Apesar de  $f_s/2 > B$ , ainda temos que lidar com o ruído



- Para solucionar esse problemas, utilizamos um filtro **passa-baixas** chamado *anti-aliasing* antes da entrada do conversor A/D.
- O filtro atenua quaisquer ruídos de entrada para que não influencie no espectro

## Aliasing – Cont.



# Teorema da Amostragem

- **Teorema da amostragem:** Se um sinal  $x_a(t)$  no tempo contínuo tem largura de faixa limitada, isto é, sua transformada de Fourier é tal que  $X_a(f) = 0, \forall |f| > f_c$ , então  $x_a(t)$  pode ser completamente recuperado a partir do sinal no tempo discreto  $x[n] = x_a(nt_s)$ , se a frequência de amostragem  $f_s$  satisfaz  $f_s > 2f_c$

# Exercícios

- **Exercício 1:** Suponha que temos um relógio mecânico somente com o ponteiro dos minutos. Então, tira-se uma foto do relógio com o ponteiro em 12:00 e demais fotos são tiradas a cada 55 minutos. Ao mostrar essas fotos para alguém:
- A) O que a pessoa poderia pensar sobre a direção do movimento do ponteiro com o passar do tempo?
- B) Com a ideia de *amostragem passa-baixas* em mente, com que frequência precisaríamos tirar fotos (em fotos/hora), de forma que a sucessão de fotos mostre uma ideia de movimento em sentido horário?



# Exercícios

- **Exercício 2:** Assuma que amostramos um sinal contínuo  $x(t)$  e obtivemos 100 amostras no tempo  $x[n]$ . Que informação importante (um parâmetro que precisamos saber para analisar  $x(t)$ ) está faltando na sequência  $x[n]$  para sabermos a duração total de  $x(t)$ ?

# Exercícios

- **Exercício 3:** Uma empresa produz um conversor A/D capaz de amostrar um sinal analógico com uma taxa de amostragem de  $f_s = 2.0 \text{ GHz}$ .
- A) Qual o período  $t_s$  da saída do conversor
- B) A capacidade total do conversor é de 256 milhões de amostras armazenadas. Qual o intervalo de tempo máximo que o conversor pode ficar amostrando um sinal contínuo?

# Exercícios

- **Exercício 4:** Considere uma senoide no domínio do tempo:

$$x(t) = \cos(1000\pi t + \pi/7)$$

- Qual a frequência  $f_0$  da senoide?
- Para  $f_s = 4kHz$ , o critério de *Nyquist* foi observado?
- Escreva a equação para a senoide discreta  $x[n]$  que é o resultado da amostragem de  $x(t)$  a uma taxa  $f_s$ .

# Exercícios

- **Exercício 5:** Se amostrássemos uma senoide contínua, cuja frequência é  $f_0$  Hz, em qual intervalo deve estar  $t_s$  para que se satisfaça o critério de Nyquist?

# Exercícios

- **Exercício 6:** Considere uma senoide em tempo discreto definida por:

$$x[n] = \text{sen}(n\pi/4)$$

- A sequência foi obtida ao se amostrar uma senoide analógica  $x(t) = \text{sen}(2\pi f_0 t)$  de frequência  $f_0$  Hz. Se a taxa de amostragem de  $x[n]$  é  $f_s = 160$  Hz, quais outros 3 possíveis valores positivos de frequência, em Hz, de  $f_0$  que poderiam ter resultado em  $x[n]$ ?

# Exercícios

- **Exercício 7:** Considere a senoide:

$$x(t) = \cos(4000\pi t)$$

- Que foi amostrada para gerar a sequência discreta:

$$x[n] = \cos(n\pi/2)$$

- Qual a taxa de amostragem  $f_s$ , medida em  $Hz$ , que resultaria nessa sequência?