

# **CONDICIONAMENTO DE SINAIS E MEDIDAS ELÉTRICAS**

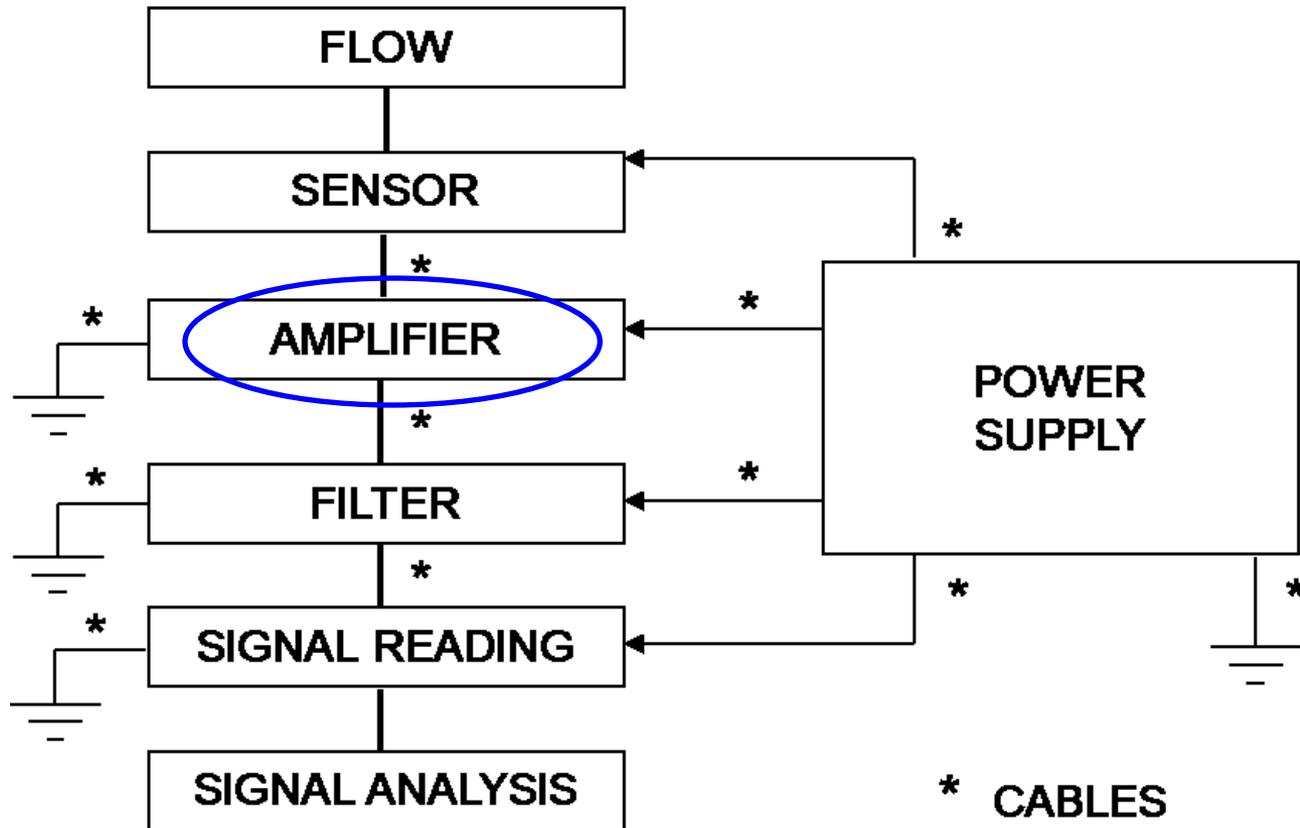
---

**Ruído e interferência:** podem ocorrer em quase todas as aplicações de engenharia onde existe transmissão de informações



## Redução de ruído em experimentos:

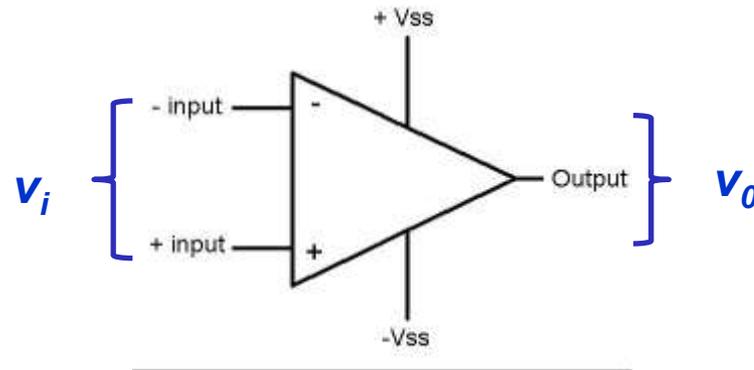
- Reduz o tempo total das campanhas de testes (tempo para ajustar os parâmetros e aquisição de dados);
- Reduz o esforço no processamento dos dados;
- Permite investigar fenômenos que envolvem flutuações de baixíssima amplitude. Ex. Transição do escoamento laminar para turbulento, aeroacústica;
- É importante gastar algum tempo antes dos experimentos procurando por fontes de ruído no aparato e escolher sensores que possuam resposta adequada (estática e dinâmica) a grandeza que se deseja medir.



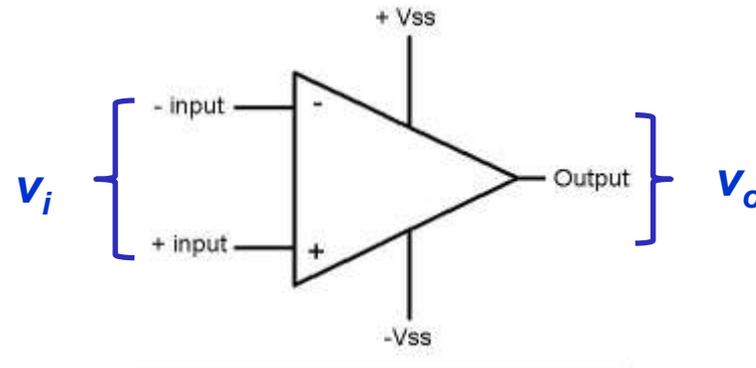
- Usado em diversas aplicações. Ex.: Instrumentação industrial e de laboratório, equipamentos médicos, equipamentos de áudio, etc.
- Diferentes tipos e características



- É um dos componentes mais importantes em um sistema de medição. É usado para aumentar a razão entre o sinal de medição e o ruído.
- Permite que o sinal seja transmitido através de cabos sem que o ruído introduzido por interferências cause dano a informação.
- Símbolo usado para representar um amplificador:



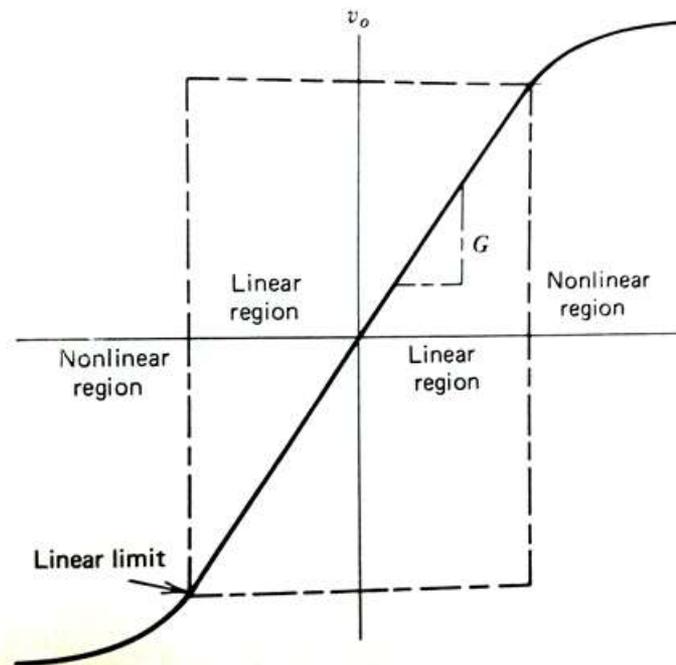
- Símbolo usado para representar um amplificador:



- A razão entre a entrada ( $v_i$ ) e a saída ( $v_o$ ) é o ganho do amplificador;
- Na faixa linear de operação do amplificador essa relação é simplesmente

$$G = \frac{v_o}{v_i}$$

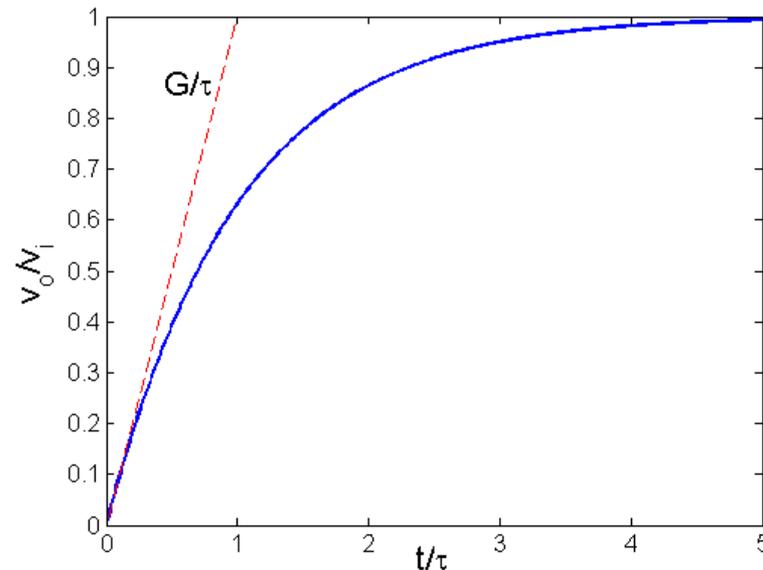
- Fora da faixa linear do amplificador, o sinal de saída apresenta efeitos de saturação.
- Isso geralmente ocorre para valores de  $v_o$  próximos da tensão de alimentação do amplificador. Tal comportamento se deve ao fato de que o amplificador não consegue fornecer valores absolutos de  $v_o$  maiores do que a tensão de alimentação.



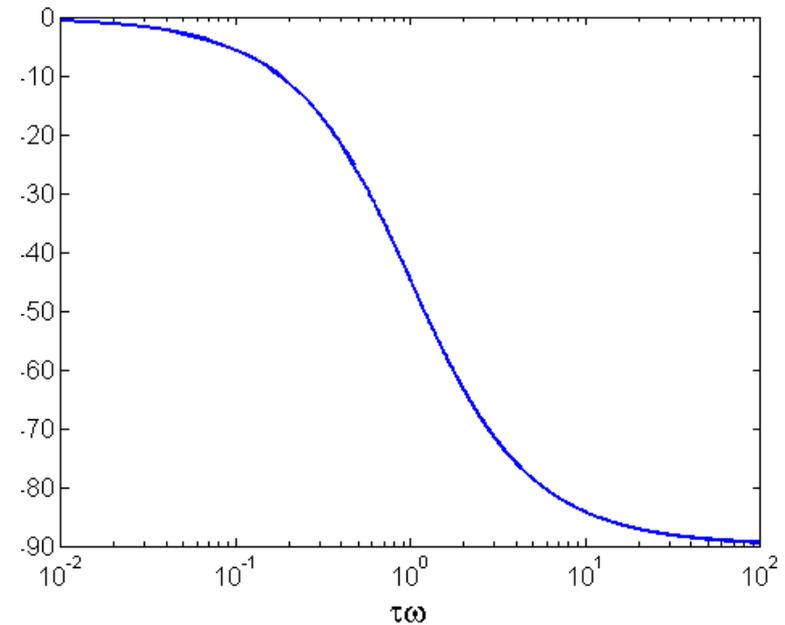
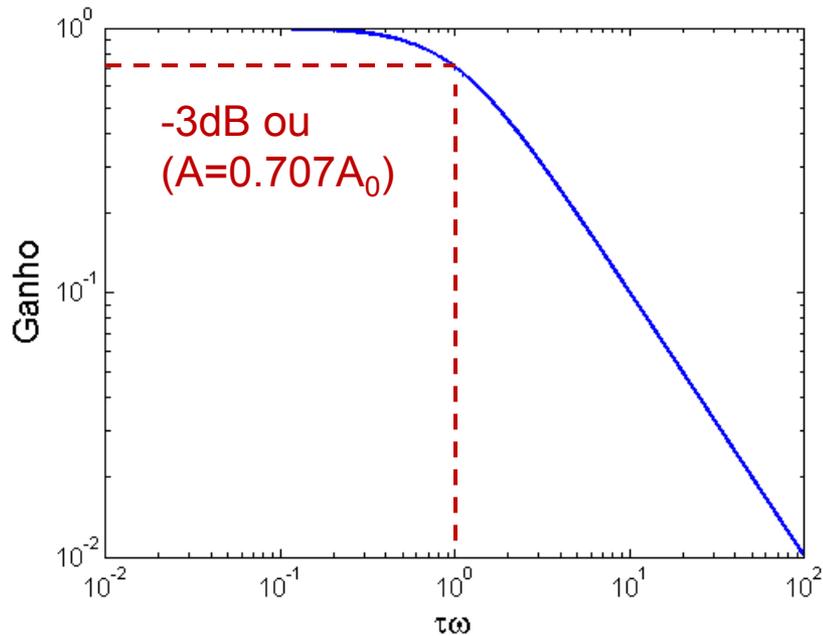
- Como vimos na aula anterior (sensores de 1ª e 2ª ordem), os equipamentos de medição possuem um tempo de resposta. No caso dos amplificadores não é diferente.
- Em alguns casos (1ª ordem) a resposta dos amplificadores pode ser representada por uma função exponencial da forma:

$$v_0 = G(1 - e^{-t/\tau})v_i$$

- Onde  $\tau$  é a constante de tempo do amplificador



- Assim como nos sistemas de 1ª ordem, para frequências acima da capacidade de resposta do amplificador, o sinal é atenuado e sofre atraso de fase.



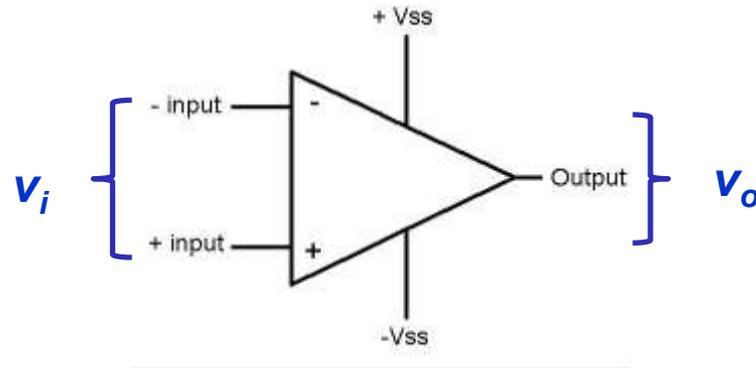
## - Características dos amplificadores

### - Voltagem de modo comum

$$v_o = G(v_{i+} - v_{i-})$$

$$v_{i+} = v + \Delta v$$

$$v_{i-} = v$$



Idealmente a saída deveria ser 0 se a diferença entre  $v_{i+}$  e  $v_{i-}$  for igual a 0. Entretanto, devido a pequenas diferenças nos componentes dos amplificadores o ganho não é exatamente igual nas duas entradas.

$$v_o = G\Delta v + G_c v$$

Onde  $G_c$  é o ganho de modo comum

- Características dos amplificadores

- Uma medida da qualidade dos amplificadores é a razão de rejeição de modo comum (*CMRR* - *common-mode rejection ratio*)

$$CMRR = \frac{G}{G_c}$$

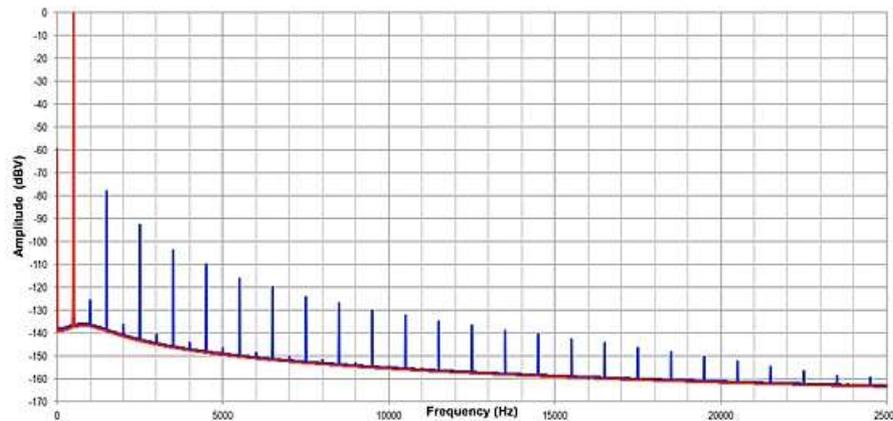
- Logo, quanto maior o valor do coeficiente, melhor a qualidade do amplificador.

- Valores típicos são na faixa de 1000 a 20.000
- Um alto valor de CMRR implica em um maior cancelamento de sinais espúrios que são comuns as duas entradas, tais como ruídos, *ripple* de fonte de alimentação, e flutuações causadas por variações de temperatura

- Razão de rejeição da alimentação. PSRR (*Power supply rejection rate*). É uma medida da sensibilidade do amplificador a variações na alimentação.

$$PSRR = G \left( \frac{\Delta V_{Supply}}{\Delta v_o} \right)$$

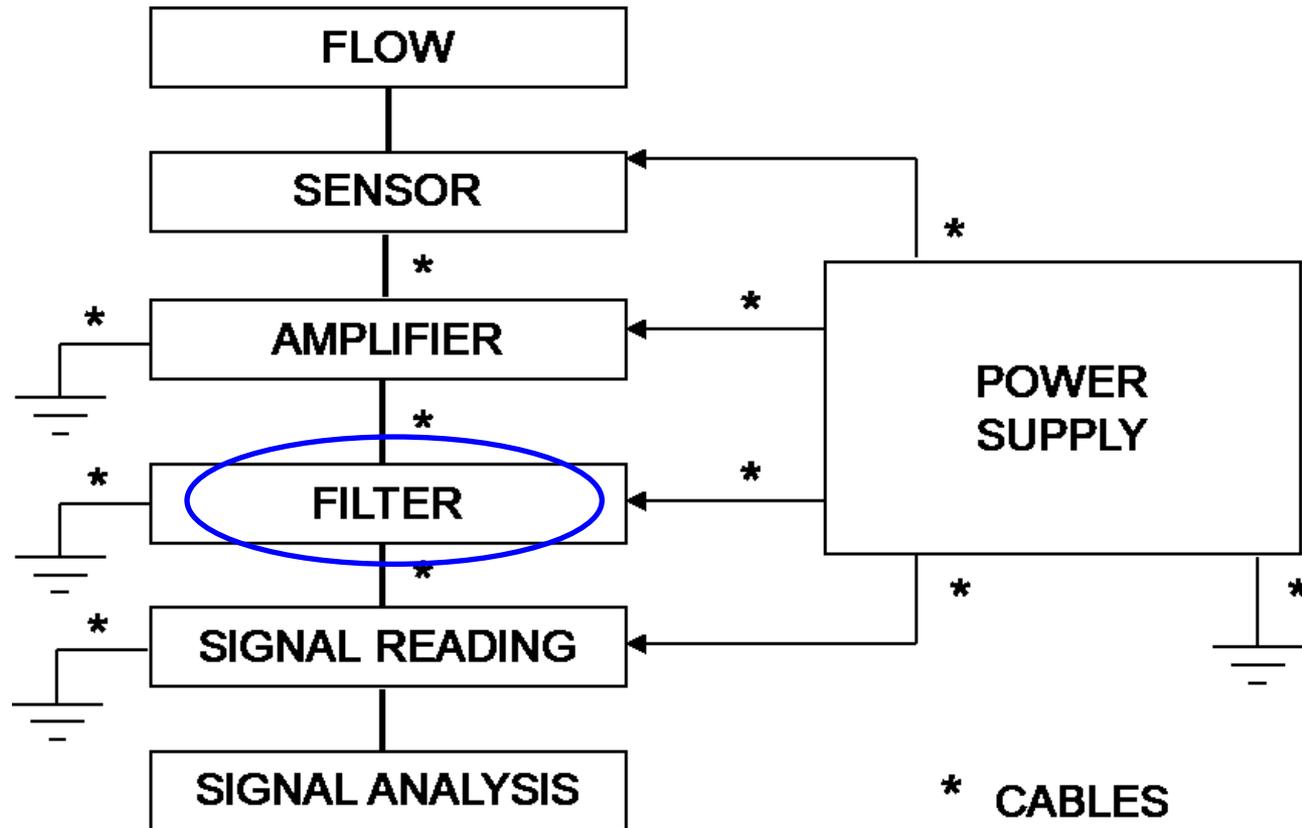
- Outra característica que está diretamente ligada a qualidade dos amplificadores é a distorção harmônica.



- O ruído inerente ao circuito interno do amplificador também é uma importante medida de qualidade.

- Informações nas folhas de dados dos fabricantes (clique na imagem para acessar datasheet)
- Ajuda na escolha de amplificadores





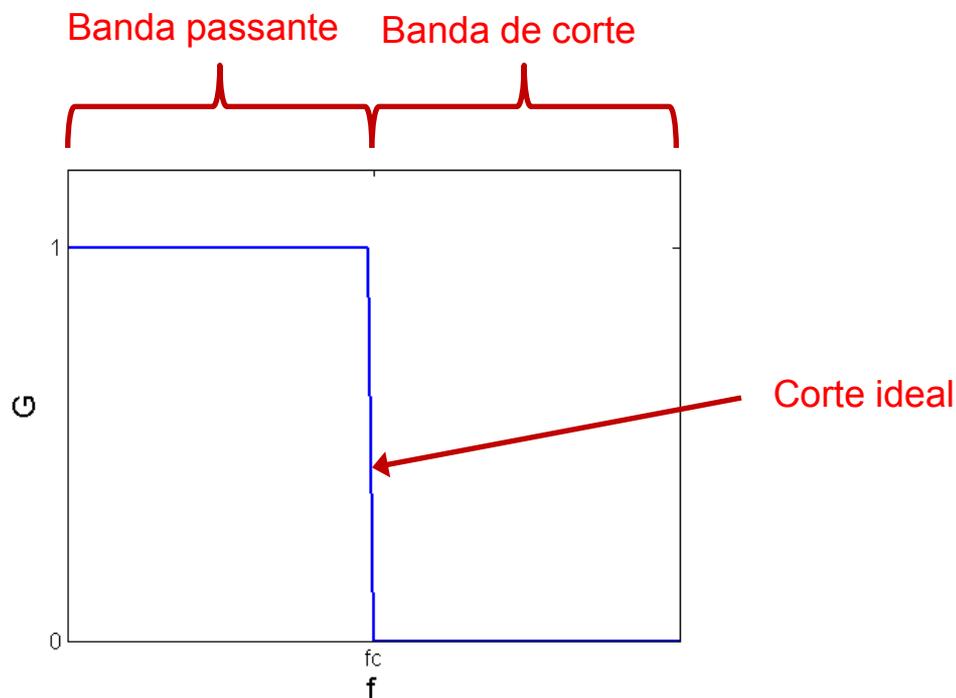
- Filtros são usados em diversas aplicações, dentre as quais pode-se citar condicionadores para aquisição de sinais, instrumentação para laboratório, equipamentos de áudio, etc.
- Diferentes tipos e características



- São utilizados para remover informação de frequência indesejável do sinal.

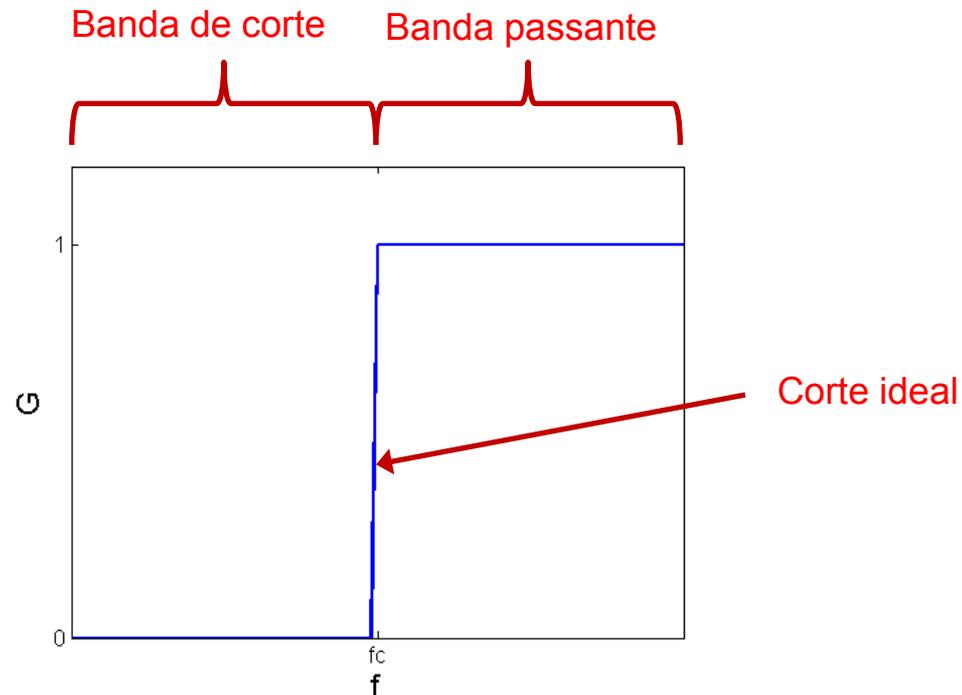
-São classificados, de forma geral, em:

*-Passa-baixa*



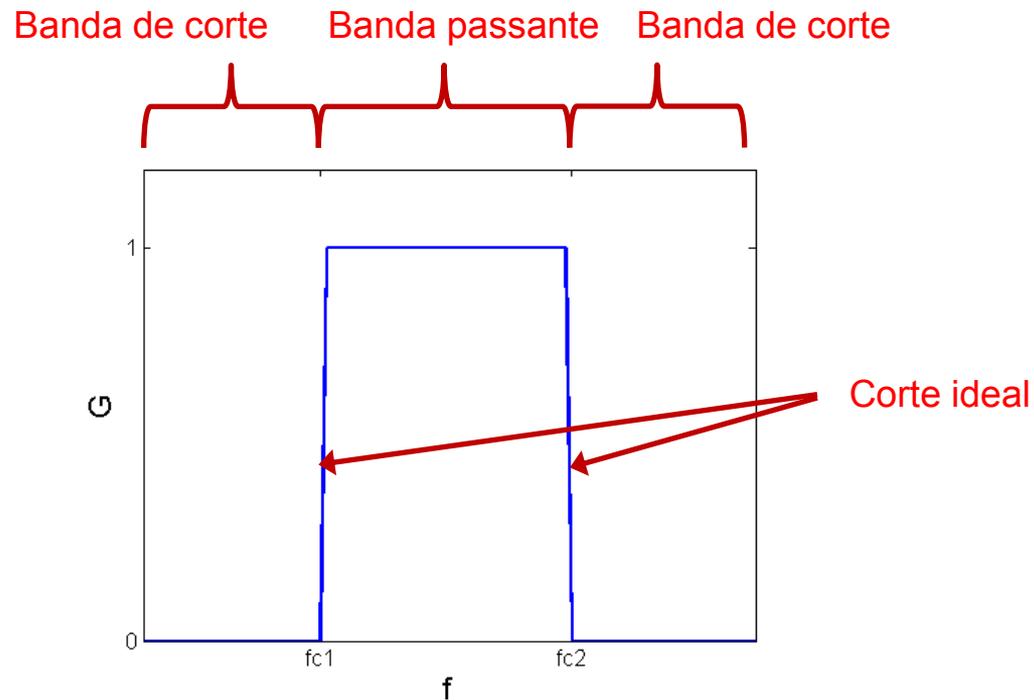
-São classificados, de forma geral, em:

-*Passa-alta*



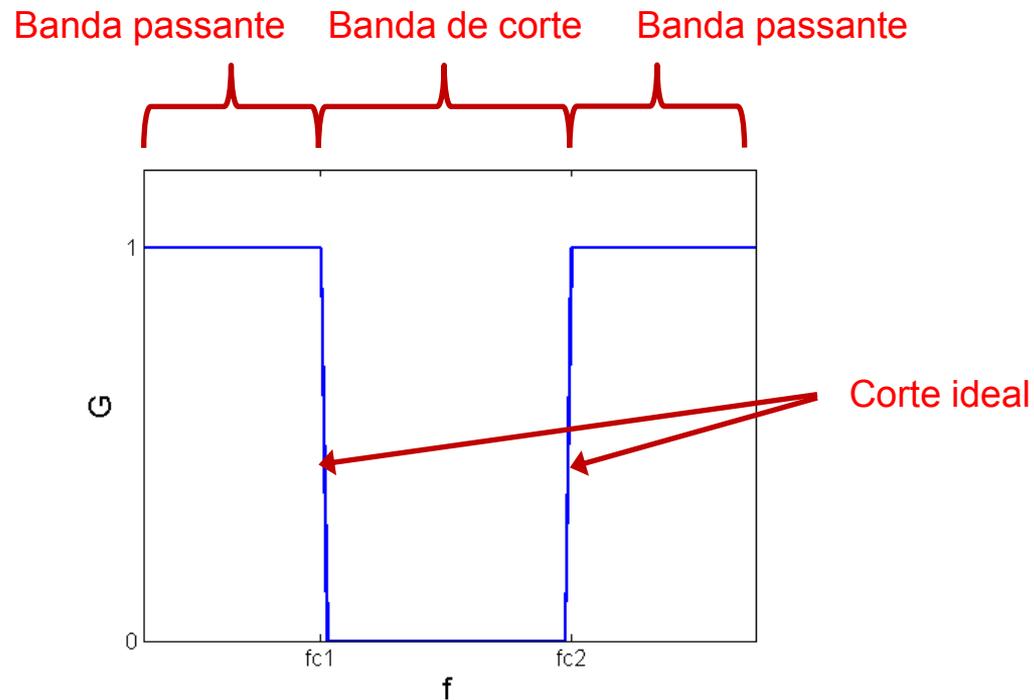
-São classificados, de forma geral, em:

-*Passa-banda*



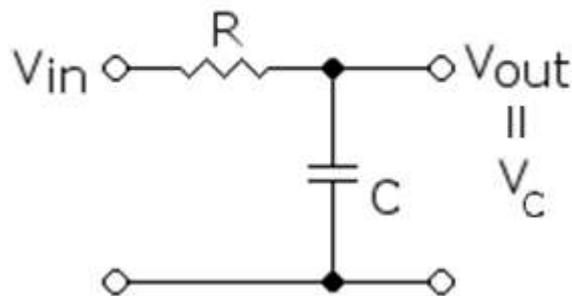
-São classificados, de forma geral, em:

-*Rejeita banda*

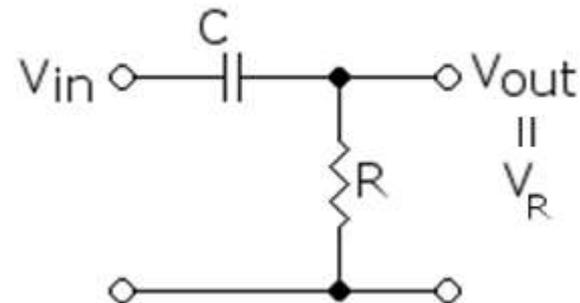


- O corte ideal dos filtros mostrados anteriormente não é possível para filtros analógicos.
- Um filtro de tensão passa alta ou passa baixa pode ser construído usando um circuito simples, composto apenas de um resistor e um capacitor.

**Ex.: Passa baixa**



**Ex.: Passa alta**



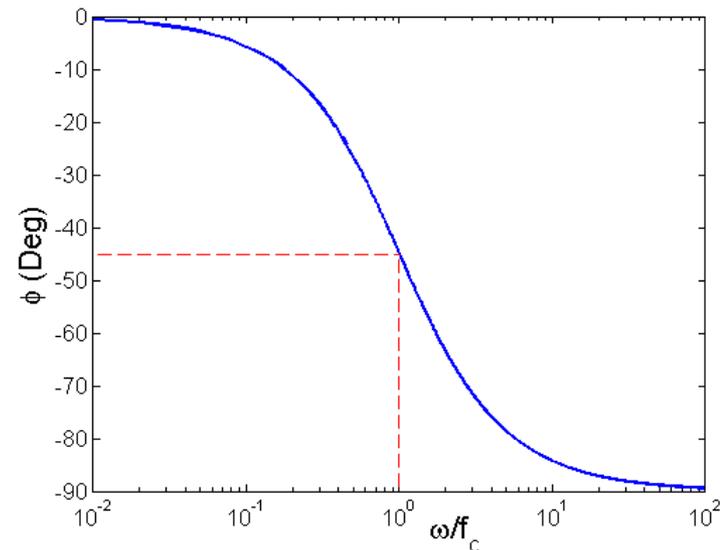
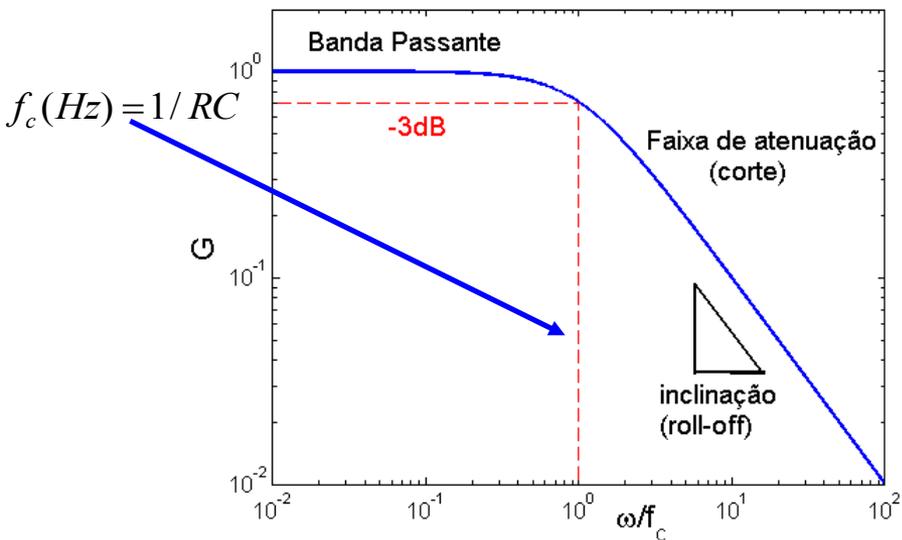
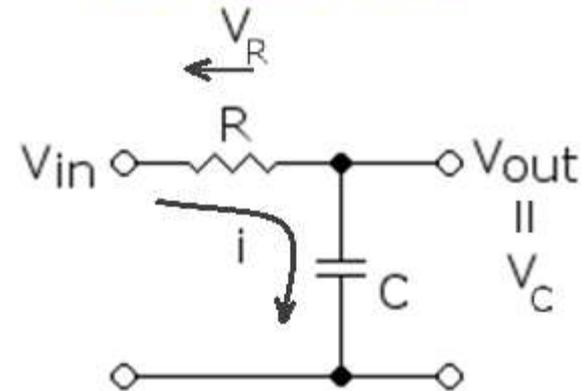
- Equacionamento dos filtros pode ser feito, sabendo-se que a impedância do capacitor ( $Z_c$ ) depende da frequência e é dada por  $Z_c = 1/j\omega C$ , onde  $j$  é o número imaginário,  $\omega$  a frequência e  $C$  a capacitância

- Equacionamento de um filtro passa baixa RC. ( $Z_c=1/j\omega C$ ),

$$i = \frac{V_{in}}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)}; \quad i = \frac{V_C}{\frac{1}{j\omega C}};$$

$$\frac{V_C}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{1}{1 + j\omega RC};$$

Ex.: Passa baixa

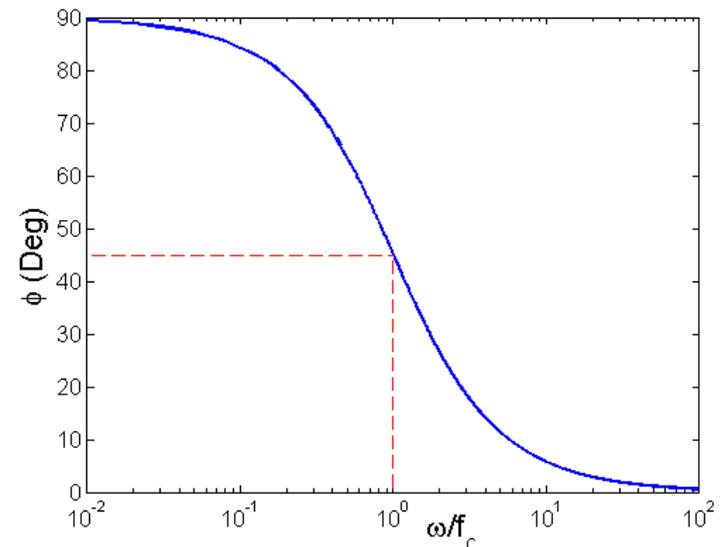
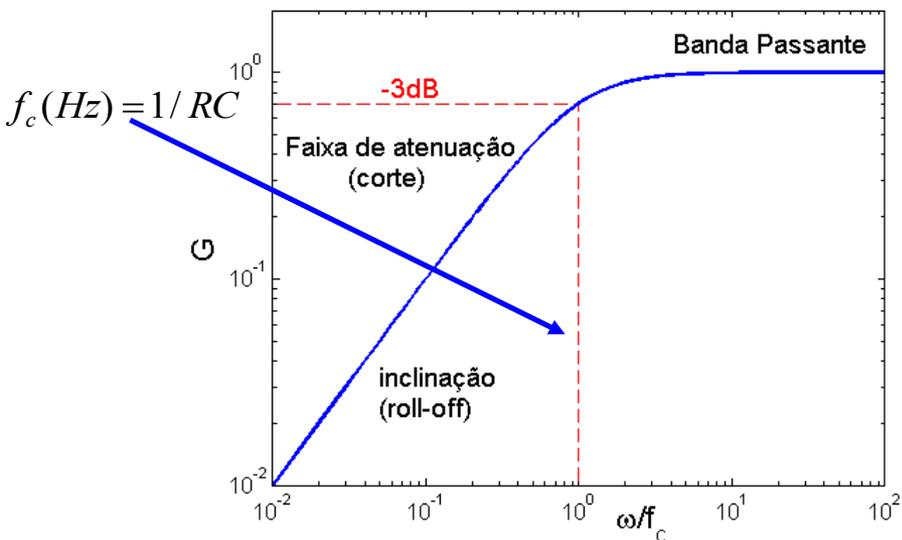
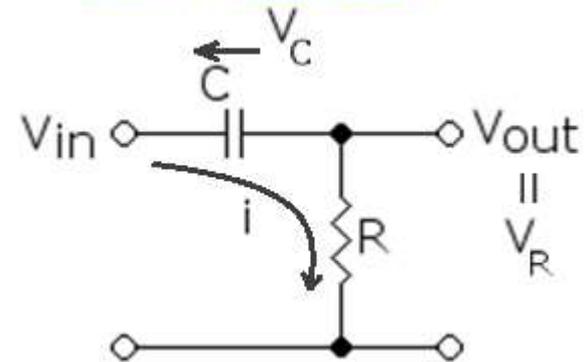


- Equacionamento de um filtro passa baixa RC. ( $Z_c=1/j\omega C$ ),

$$i = \frac{V_{in}}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)}; \quad i = \frac{V_R}{R};$$

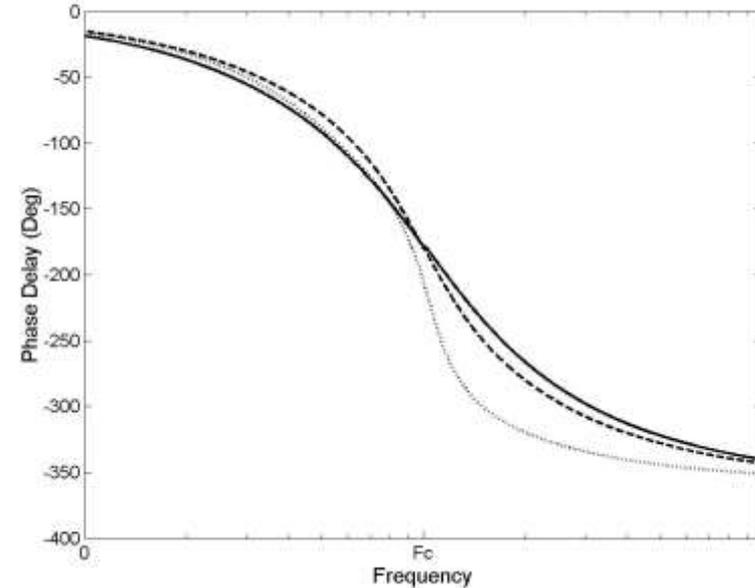
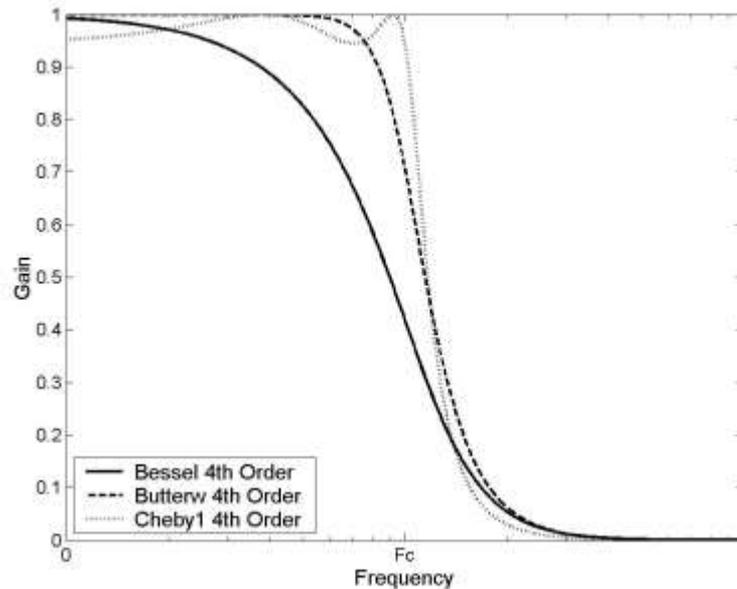
$$\frac{V_C}{V_{in}} = \frac{R}{\left(R + \frac{1}{j\omega C}\right)} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC};$$

Ex.: Passa alta

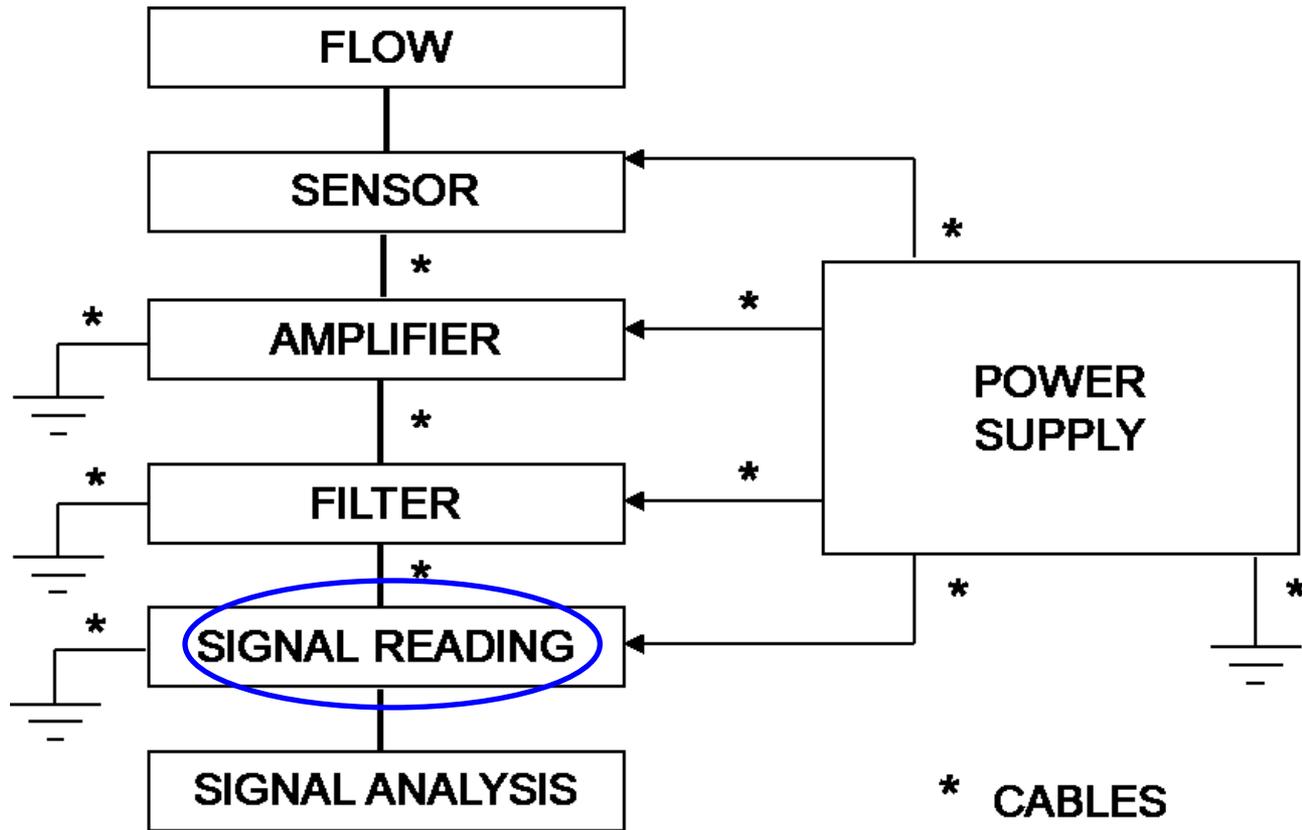


- Um filtro passa baixa de primeira ordem, por exemplo, irá atenuar a amplitude do sinal em cerca de duas vezes (6 dB) cada vez que a frequência dobrar (subir uma oitava).
- Um filtro de segunda ordem possui uma maior razão de atenuação (*roll-off*). Por exemplo, um filtro Butterworth de segunda ordem reduzirá a amplitude do sinal a um quarto de seu valor anterior cada vez que a frequência dobrar (-12 dB por oitava).
- Outros filtros de segunda ordem podem apresentar taxas diferentes dependendo da construção. No entanto, os valores se aproximam da taxa final de -12dB por oitava.
- No geral, a taxa final de atenuação de um filtro de n-ordem é  $-6*n$  dB por oitava.

- Funções de filtros mais conhecidas: Bessel, Butterworth e Chebyshev.



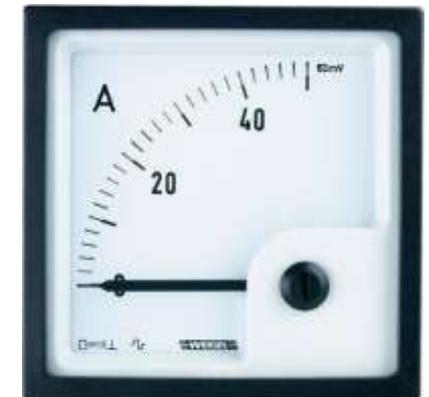
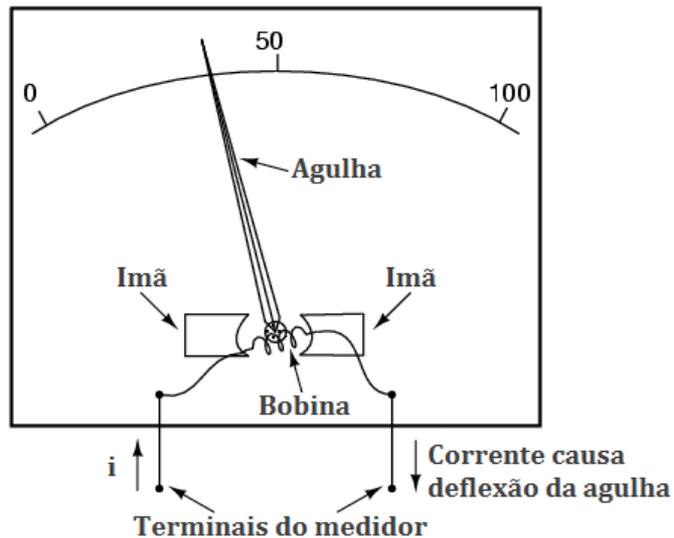
- Normalmente, as funções nesses filtros de mais alta ordem são ajustadas com amplificadores operacionais. Logo, todas as considerações acerca do ruído de amplificadores são válidas para filtros ativos.
- Sendo assim, não é recomendado o uso de filtros ativos antes da amplificação do sinal !



Usualmente, dois tipos de equipamentos são utilizados na medição de sinais elétricos:

- **Medidores analógicos:** são compostos apenas de componentes analógicos. Estes medidores são frequentemente encontrados em mostradores de equipamentos, devido a sua facilidade de leitura.
- **Medidores digitais:** esses tipos de medidores possuem um conversor Analógico-Digital para transformar o sinal elétrico analógico em um dado digital. São amplamente empregados para a aquisição e análise de sinais por computadores.

## Medidores de corrente: GALVANÔMETRO



O princípio básico da medida de corrente se baseia no fato de que, quando um condutor é colocado em um campo magnético, existirá uma força sobre o condutor quando uma corrente passar por ele.

## Medidores de corrente: GALVANÔMETRO

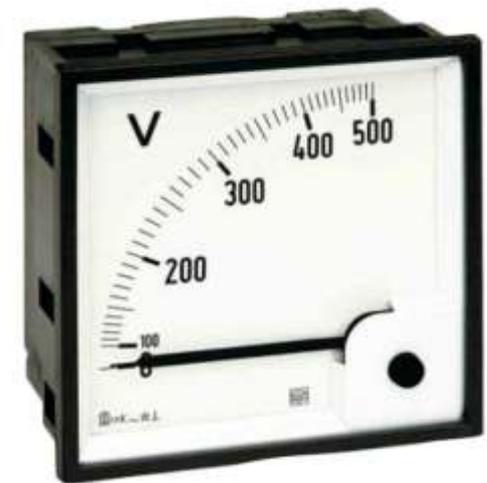
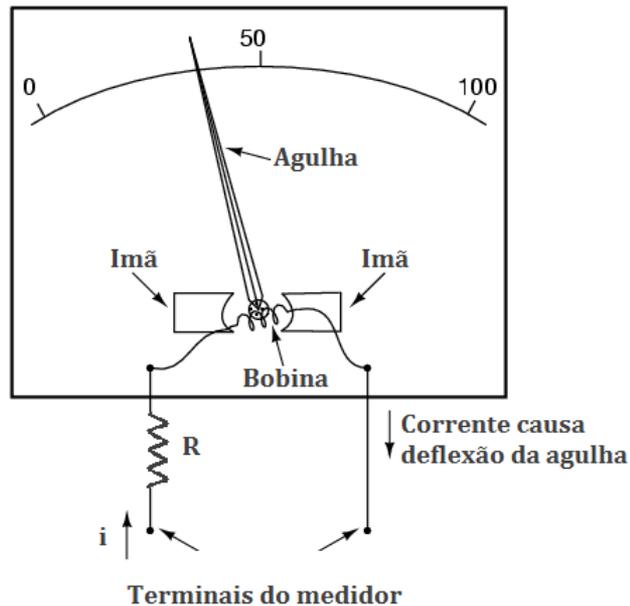
O princípio básico da medida de corrente se baseia no fato de que, quando um condutor é colocado em um campo magnético, existirá uma força sobre o condutor quando uma corrente passar por ele.

$$F = NBiL$$

Onde  $N$  é o número de espiras,  $B$  é a intensidade do campo magnético,  $i$  é a corrente e  $L$  o comprimento de cada espira.

Para a medição de corrente alternada, uma técnica comum é o uso de diodos para formar um retificador que converte uma corrente alternada em contínua. Assim é possível usar o galvanômetro.

## Medidores de tensão: Voltímetro



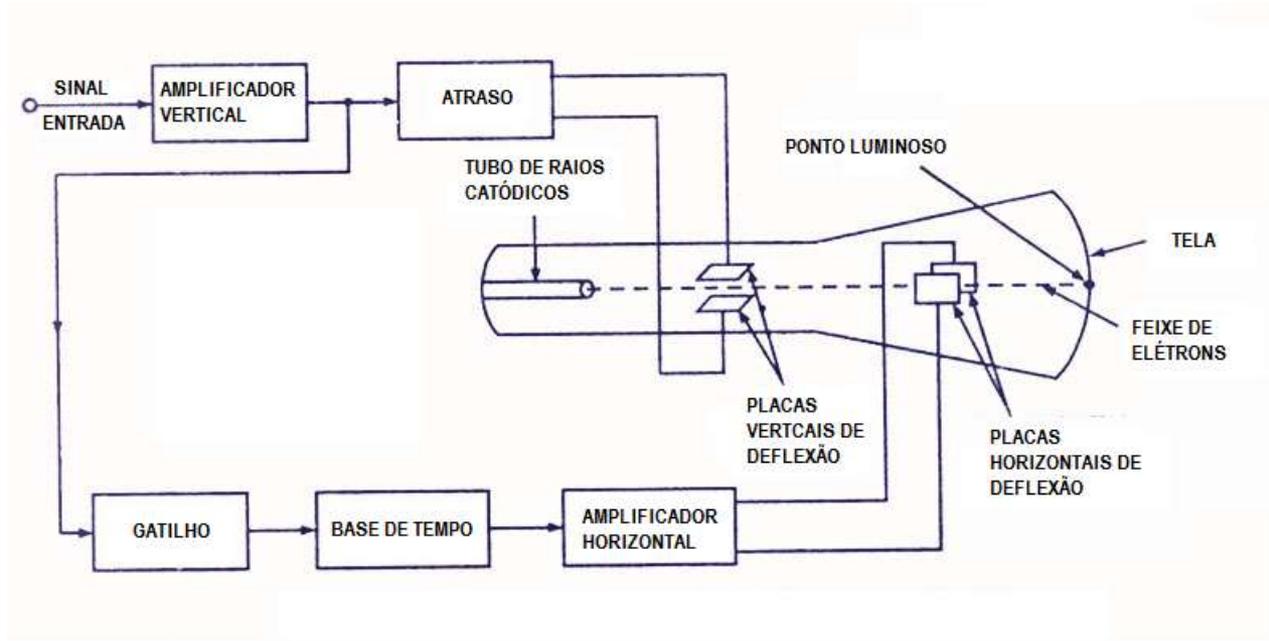
O mecanismo é o mesmo do galvanômetro, a conversão para leitura de tensão é feita usando um resistor apropriado e de resistência conhecida.

## Medidores de tensão: Osciloscópio



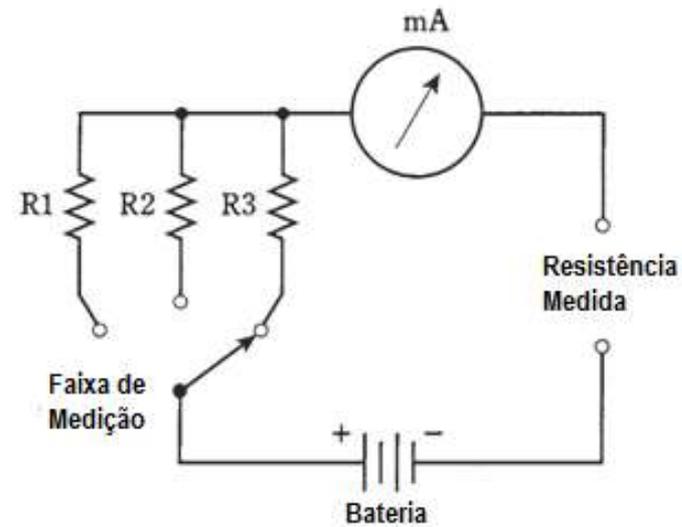
- É muito utilizado para medir o comportamento de sinais dinâmicos.
- A imagem visual do sinal permite observar em tempo real o comportamento do sinal e facilita o diagnóstico de possíveis causas de ruído.

## Medidores de tensão: Osciloscópio



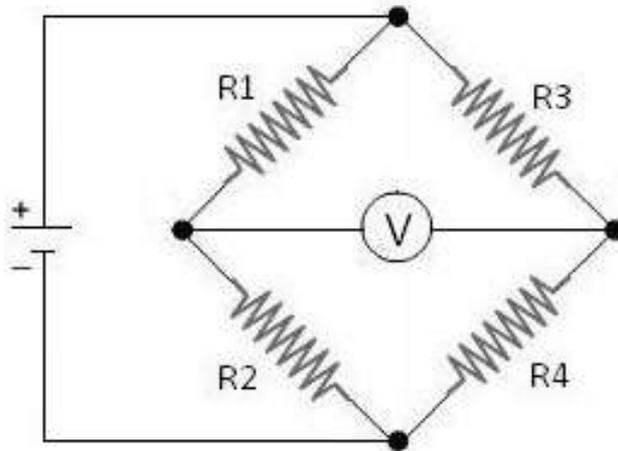
- Resposta na faixa de MHz com alguns modelos podendo chegar a GHz.
- Permite ajuste das escalas de amplitude e tempo além de sincronização para uma análise do sinal.

## Medidores de resistência: Ohmímetro



- Consiste em aplicar uma tensão conhecida sobre a resistência medida e medir a corrente que passa pelo circuito.
- Normalmente a tensão é baixa para se evitar correntes altas no circuito, e que podem danificar a resistência medida.

## Medidores de resistência: Ponte de Wheatstone

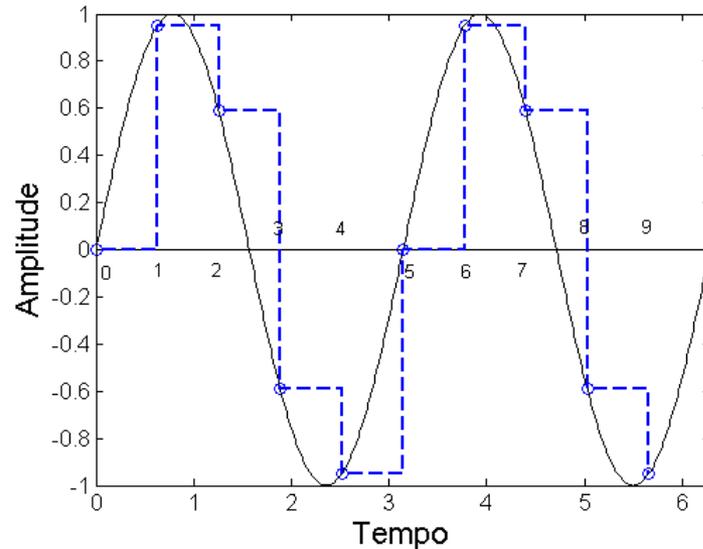
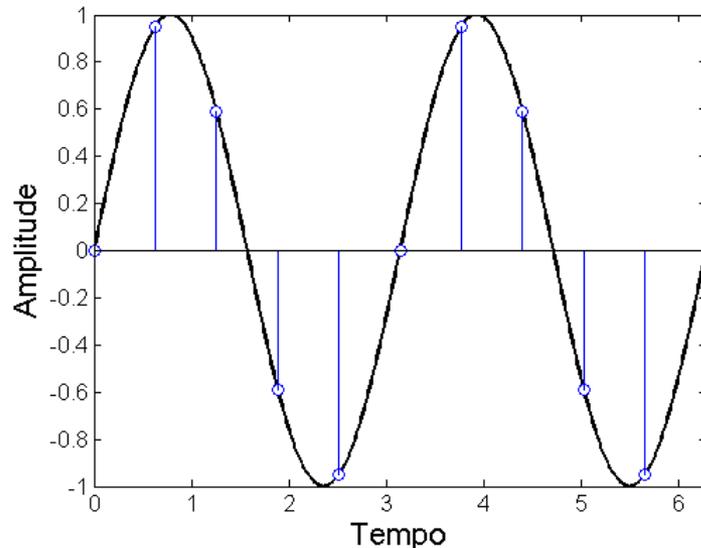


$$\text{Se } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \rightarrow V = 0;$$

- Formada por 2 divisores de tensão em paralelo. Se a relação de proporcionalidade acima for satisfeita a diferença de tensão nos dois lados da ponte é nula.
- O arranjo permite medir a resistência de maneira muito exata.
- Arranjo muito utilizado em medidores de pressão, deflexão, velocidade, etc., devido a exatidão das medidas.

## Equipamentos Digitais

- Os dados em equipamentos digitais são discretos tanto na amplitude como no tempo.



- A discretização na amplitude depende da resolução da conversão de analógico para digital (conversão A/D).
- Já a discretização no tempo depende da taxa em que os dados foram amostrados. (Frequência de aquisição).

## Equipamentos Digitais

- Resolução em Bits:
  - Normalmente a resolução é dada em bits e se refere ao número de intervalos **discretos** em que a faixa de medição do equipamento pode ser dividida.

**Ex.1:** Equipamento com faixa de medição: 0-10V e conversão A/D de 12Bits.

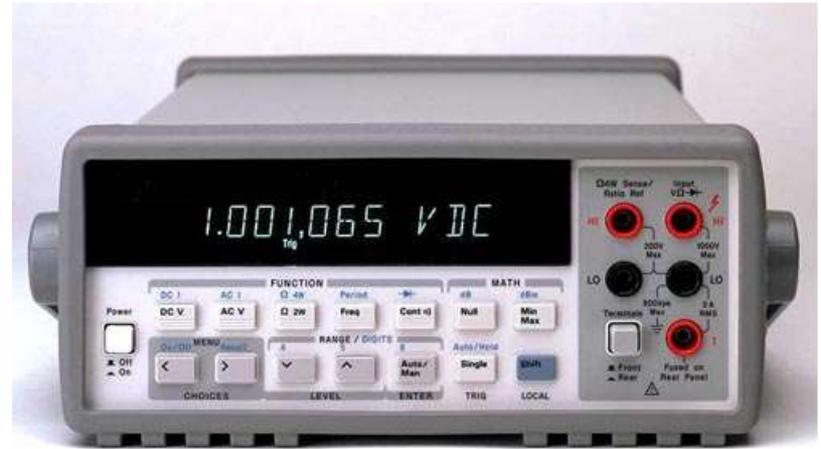
Número de intervalos discretos  $=2^{12}=4096$

$\Delta$ Amplitude =  $(10-0)/4096=0.0024V$  (resolução mínima)

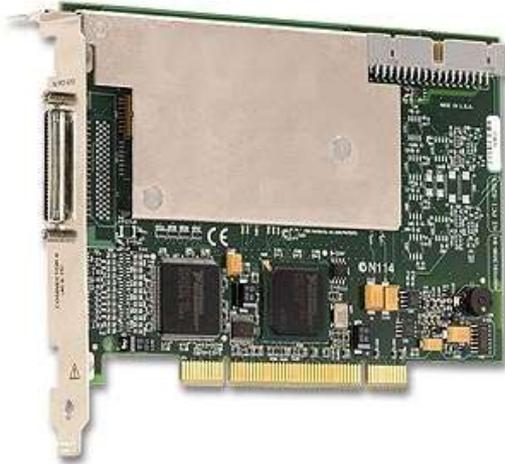
**Ex.2:** Leitura de um equipamento com faixa de medição: 0-10V quando o valor real for de 1mV.

10Bits  $\rightarrow 10V/2^{10}=0.0098V$ ;      Leitura do equip=0  
12Bits  $\rightarrow 10V/2^{12}=0.0024V$ ;      Leitura do equip=0  
16Bits  $\rightarrow 10V/2^{16}=0.000153V$ ;      Leitura do equip=1.07mV

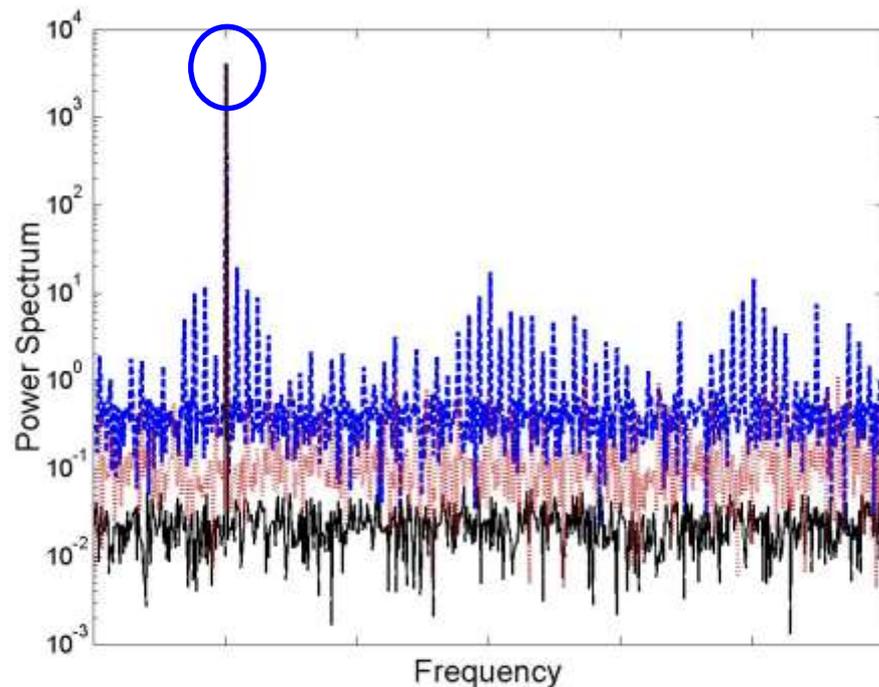
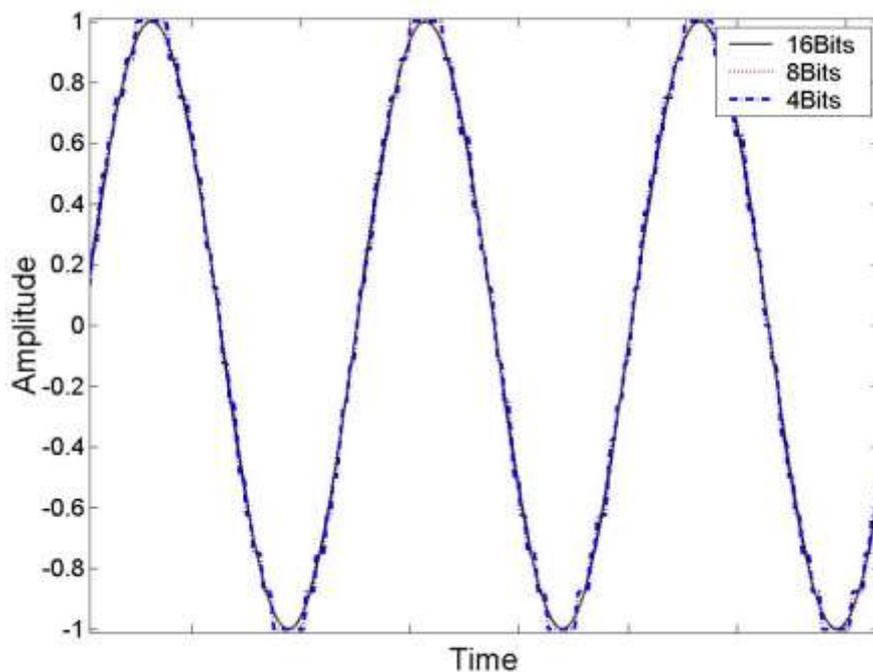
## Voltímetros



## Sistemas de Aquisição de Dados

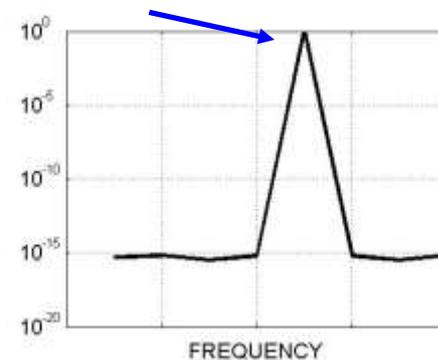
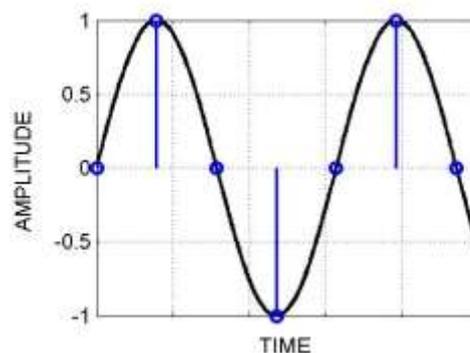


- Exemplo de ruído gerado pela baixa resolução na discretização do sinal (número de bits utilizados).
- Solução: **Uso de amplificadores**



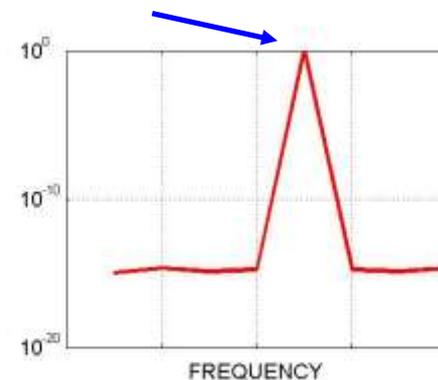
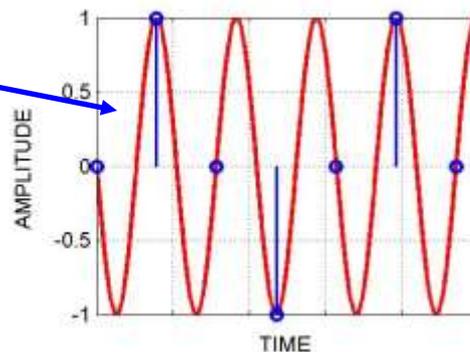
A amplitude absoluta da onda não é uito afetada pela resolução, mas a razão entre sinal e ruído é reduzida quando a resolução diminui.

- Exemplo da amostragem de sinais com frequência acima da frequência máxima de Nyquist.
- Solução: **Uso de filtros anti-alias**. Reduz a amplitude dos sinais que estão fora da faixa de amostragem do sinal



Sinal não pode ser resolvido com a frequência de aquisição utilizada ( $Freq > Freq_{Nyquist}$ ).

Se não for removido cria falsas frequências (aliasing).



- Exemplo da amostragem de sinais com frequência acima da frequência máxima de Nyquist.
- Solução: **Uso de filtros anti-alias**. Reduz a amplitude dos sinais que estão fora da faixa de amostragem do sinal

Sempre há ruído de alta frequência no sinal, de modo que, é recomendável a utilização de filtros antes da digitalização, para evitar falsas frequências.

