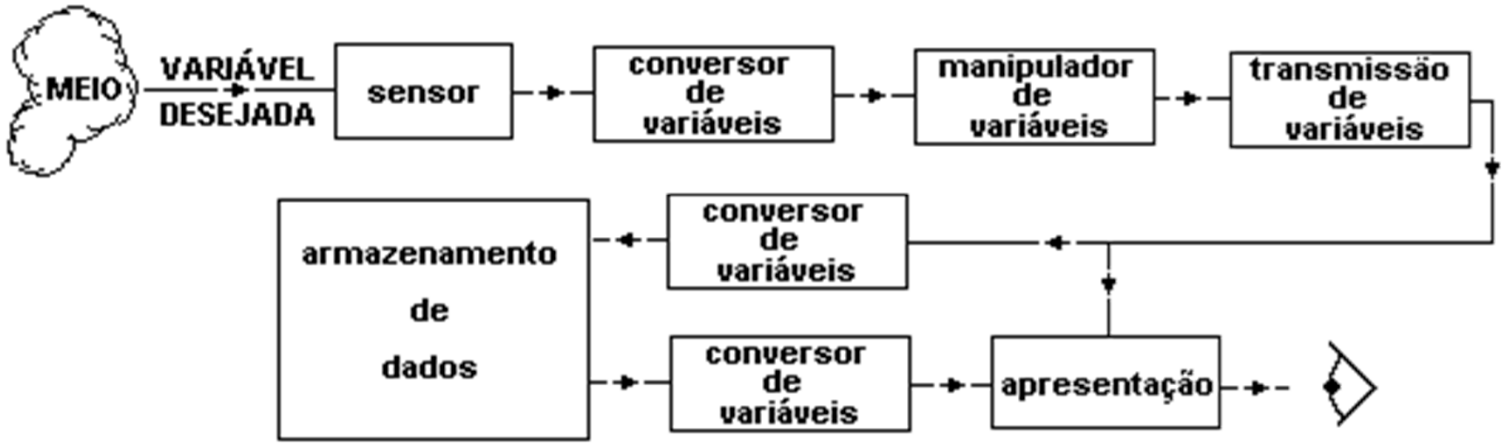
# Instrumentação

2019

2ª. aula

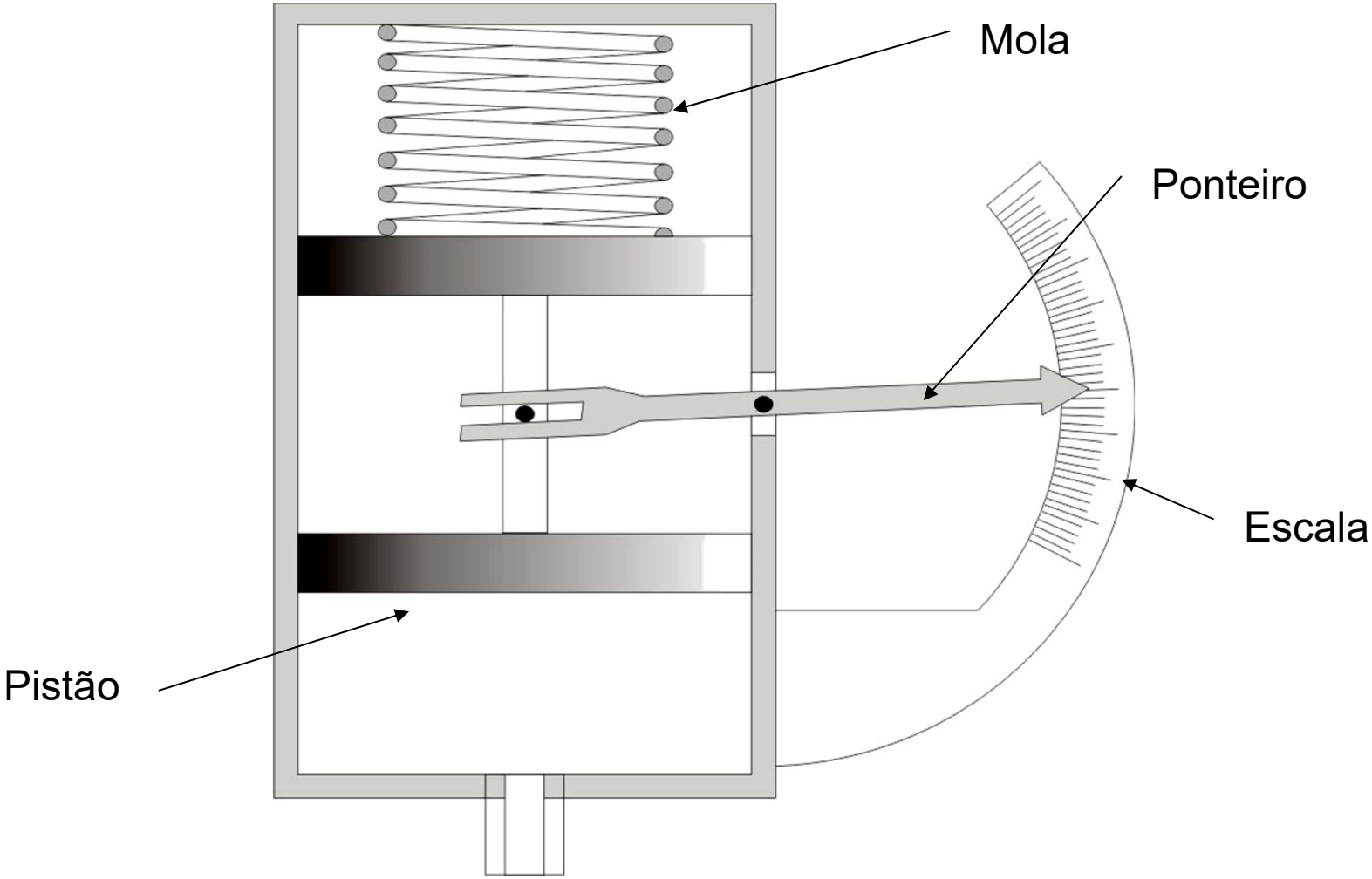
# Configuração generalizada de instrumentos

1- Conceito de Instrumento

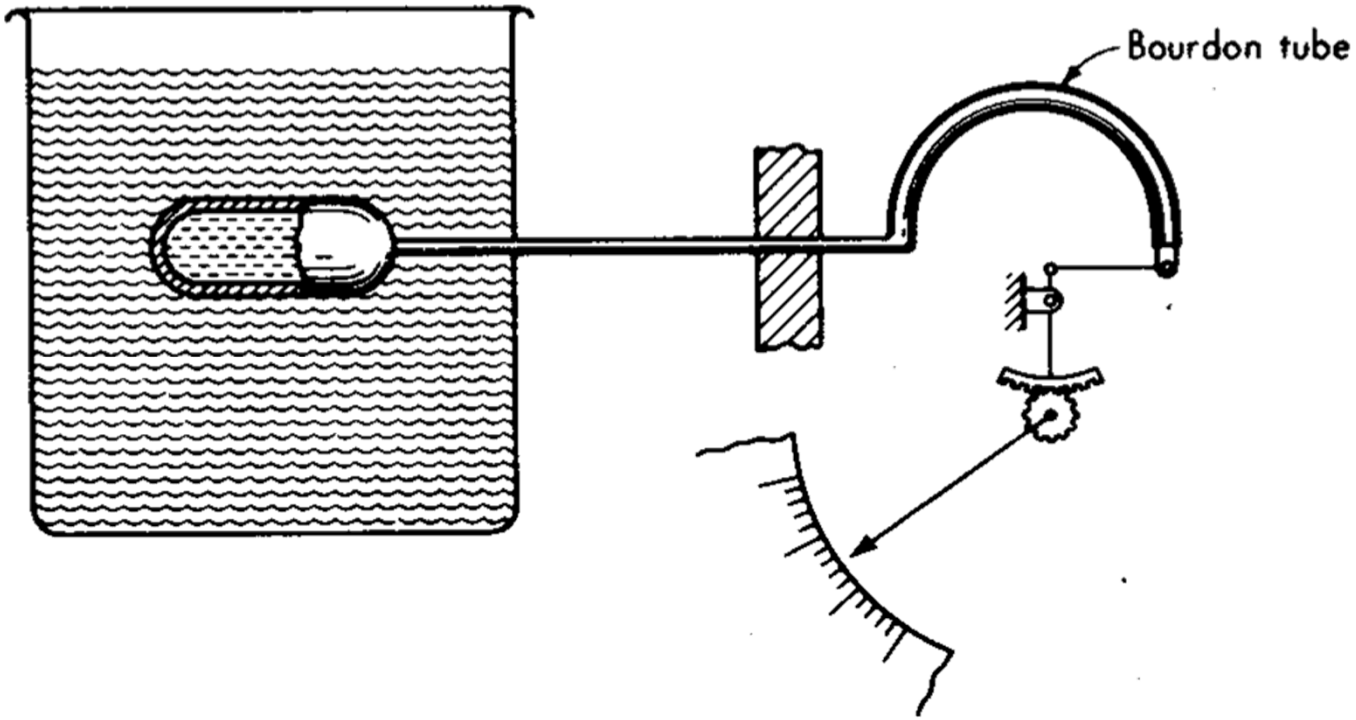



2- Partes Funcionais de um Instrumento

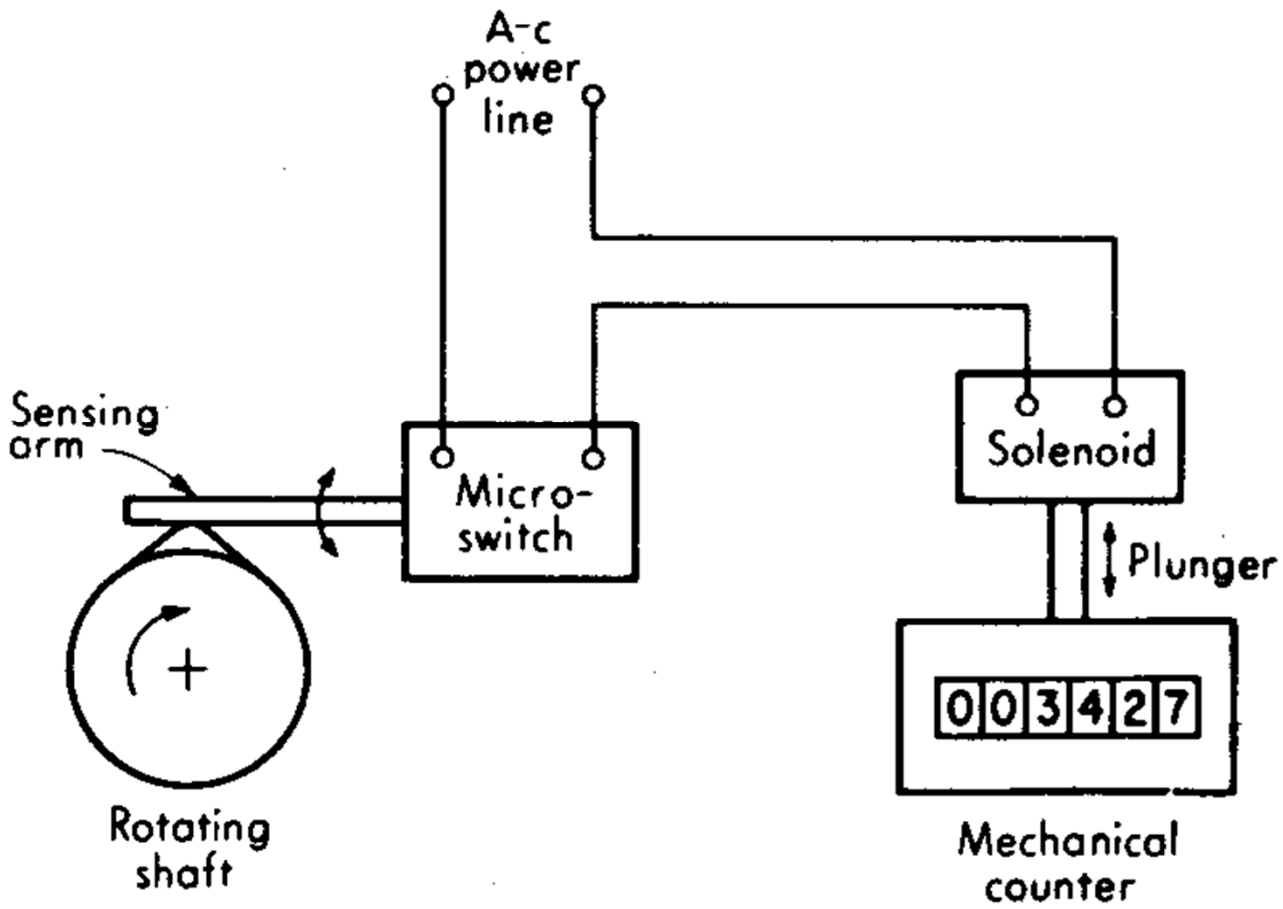
# Exemplo 01- Manômetro



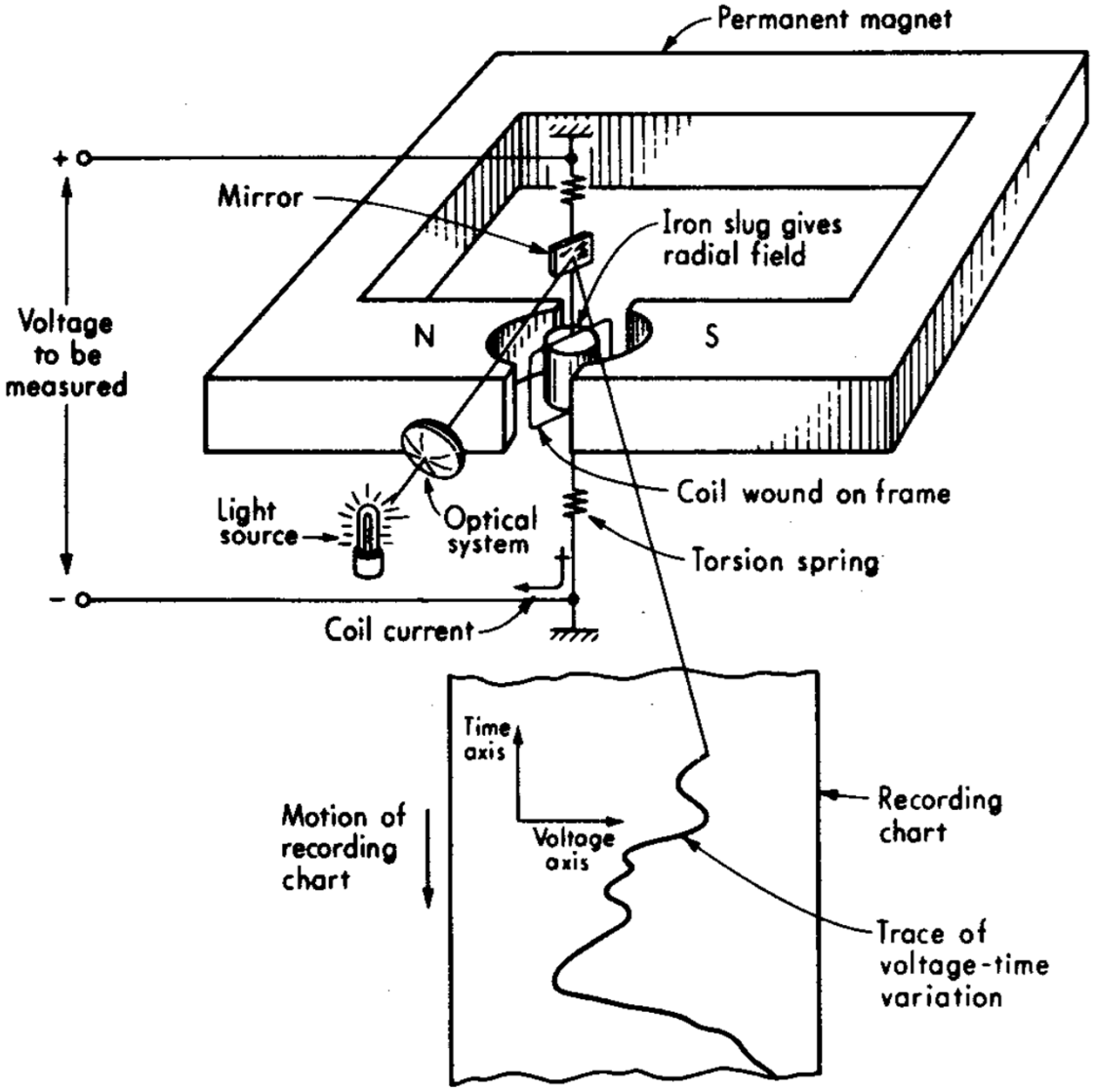
# Exemplo 2 – Termômetro



# Exemplo 3 - Tacômetro



# Exemplo 4 - Galvanômetro



# Classificação de instrumentos

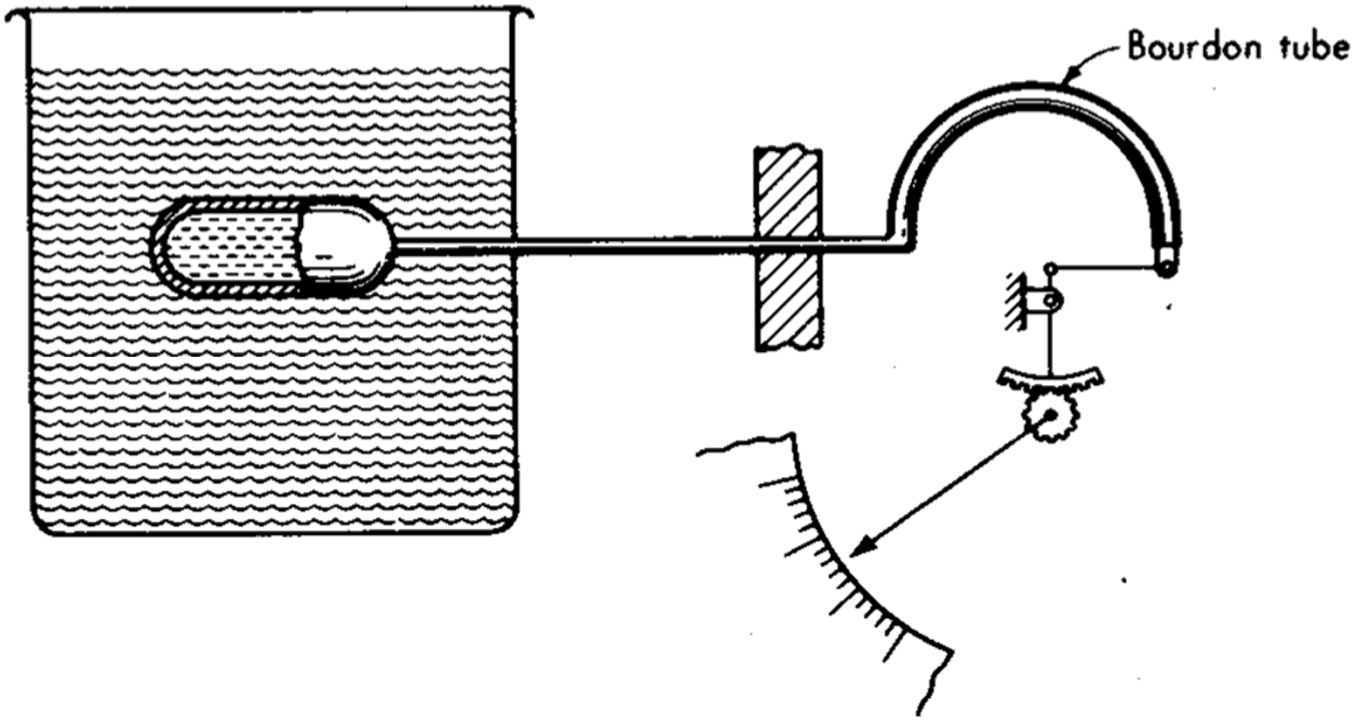
## Transdutores Ativos e Passivos

- Passivo: Toda energia para o funcionamento do transdutor é retirada do meio.
  - Exemplo: termômetro de mercúrio
- Ativo: O transdutor tem uma fonte auxiliar de energia e retira do meio um mínimo de energia.
  - Exemplo: medidor de temperatura por “par termoelétrico”

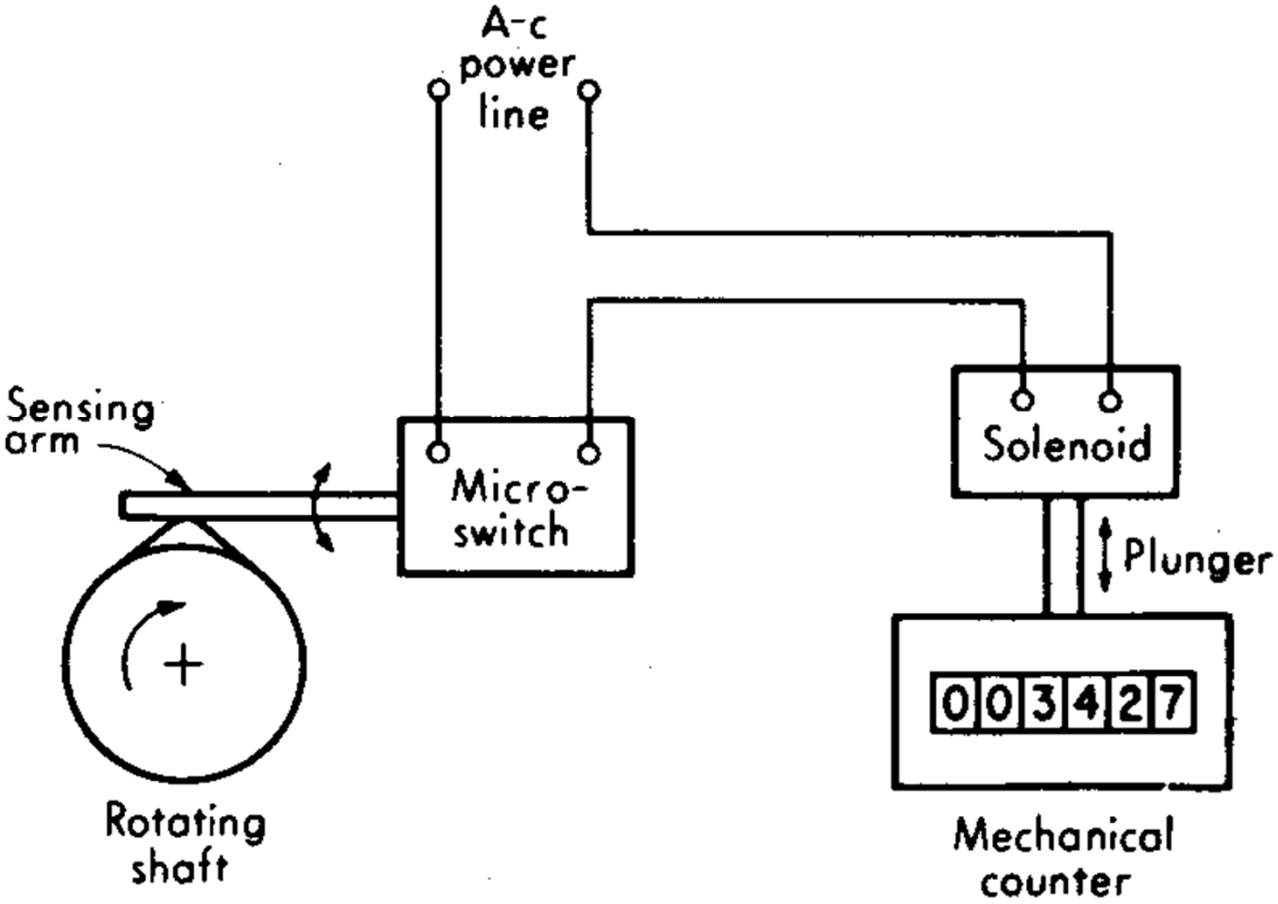
# Classificação quanto à operação

- **Analógico**
  - Variam de modo contínuo e podem fornecer uma infinidade de valores em um dado intervalo.
- **Digital**
  - Variam de forma discreta, em degraus, e portanto só podem fornecer um número finito de diferentes valores em um dado intervalo.

# Exemplo de operação analógica

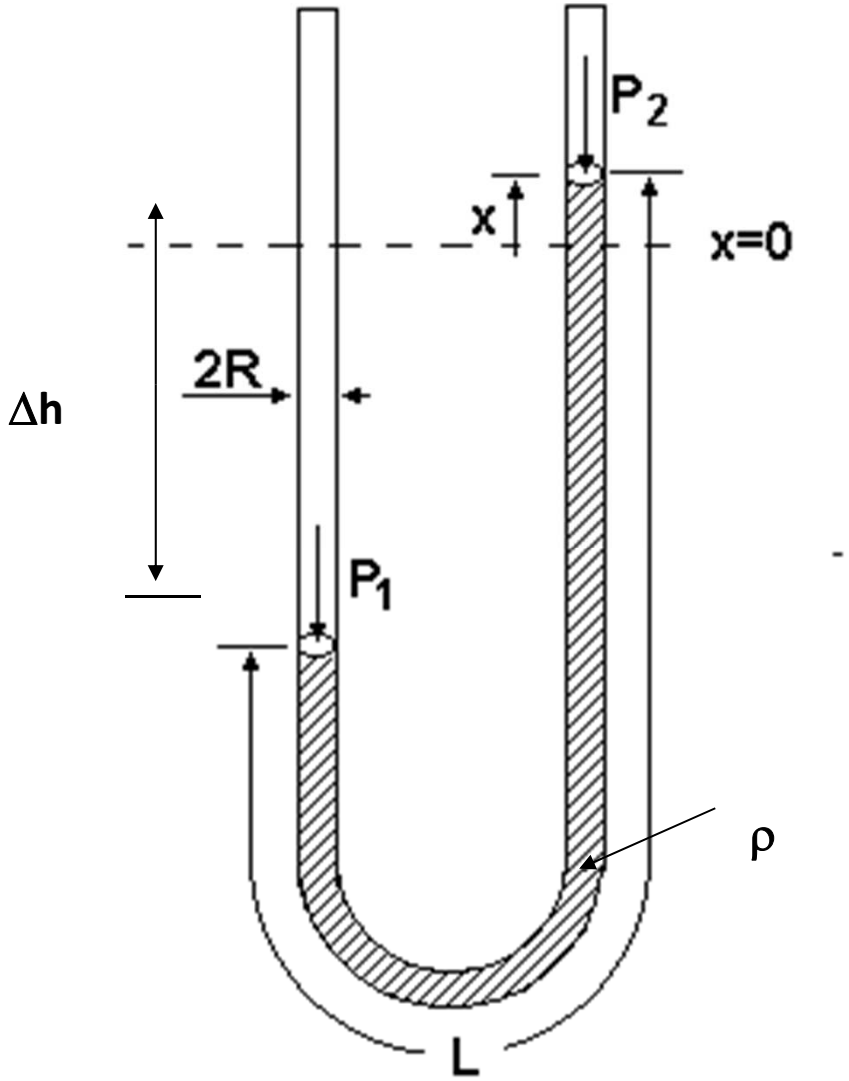


# Exemplo de operação digital



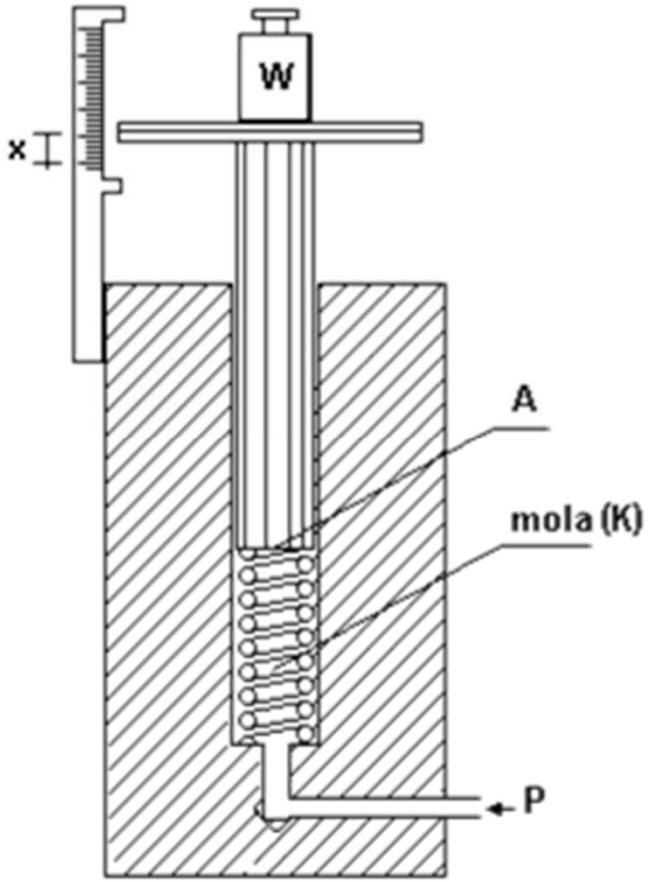
# Classificação quanto ao método

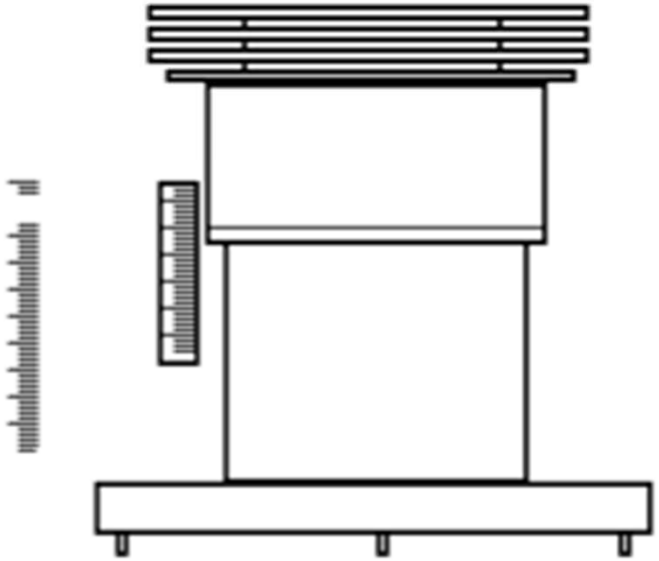
- Método da deflexão



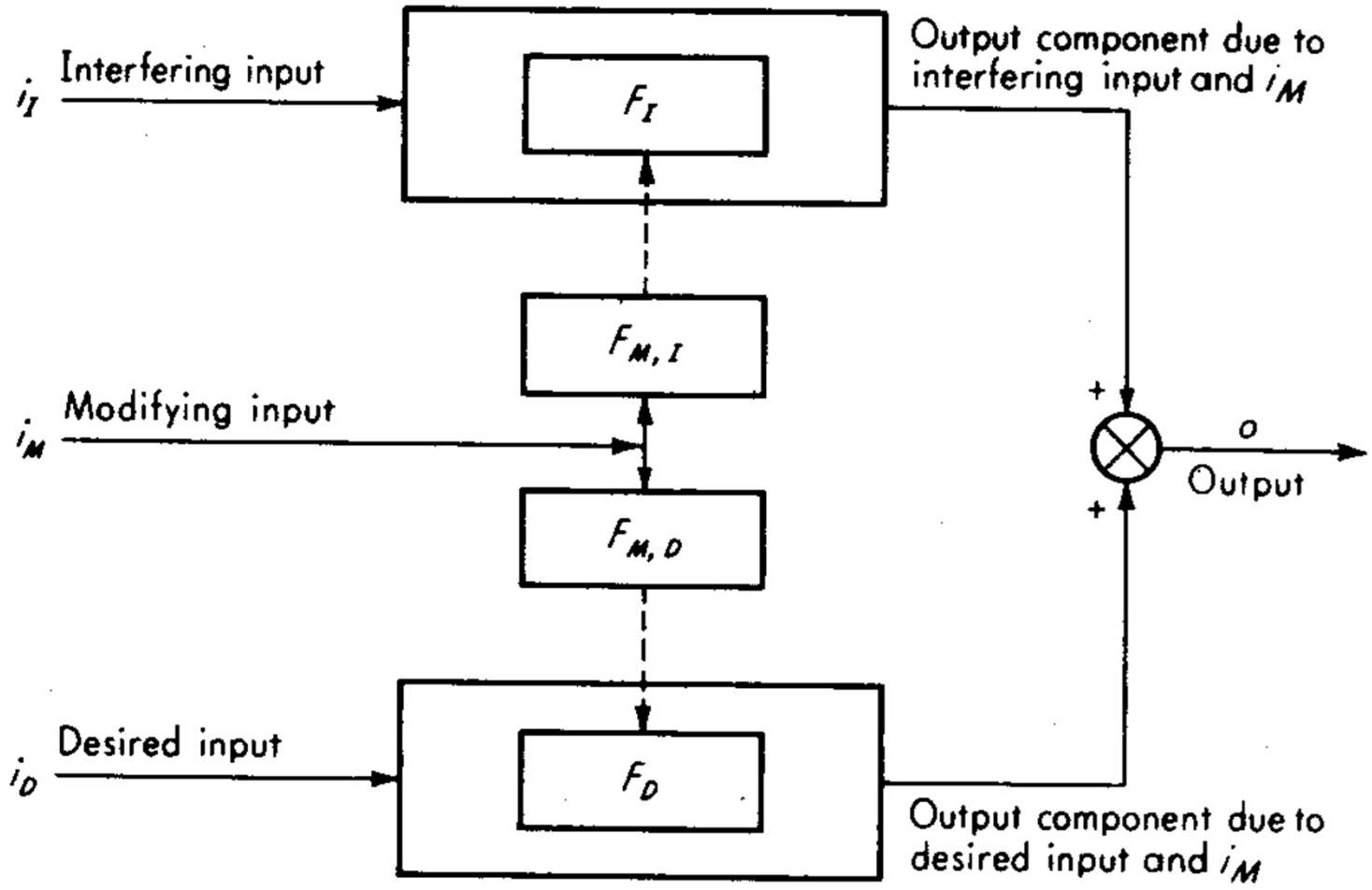
# Classificação quanto ao método

- Método do anulamento



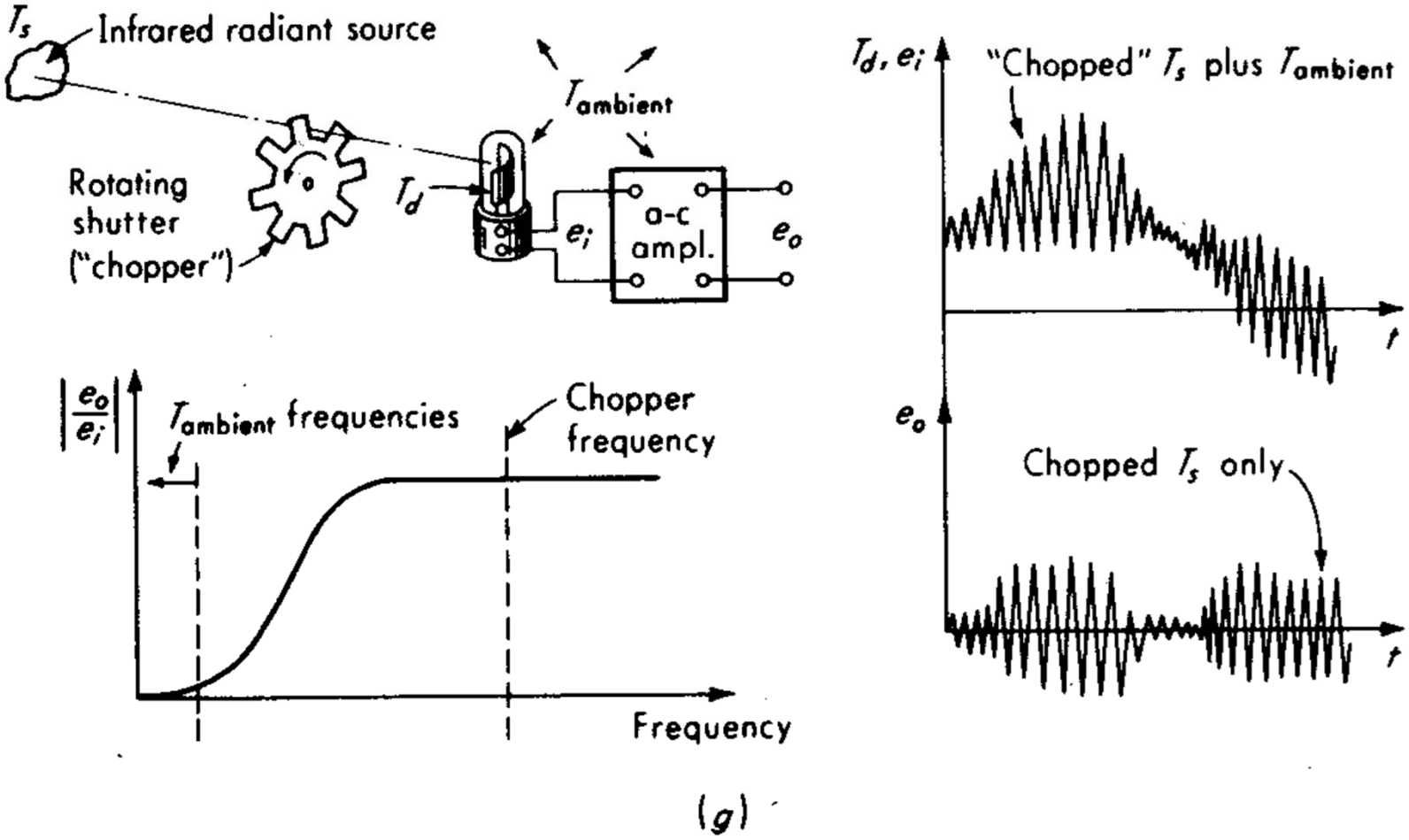
# Configurações de entrada e saída



# Métodos de correção

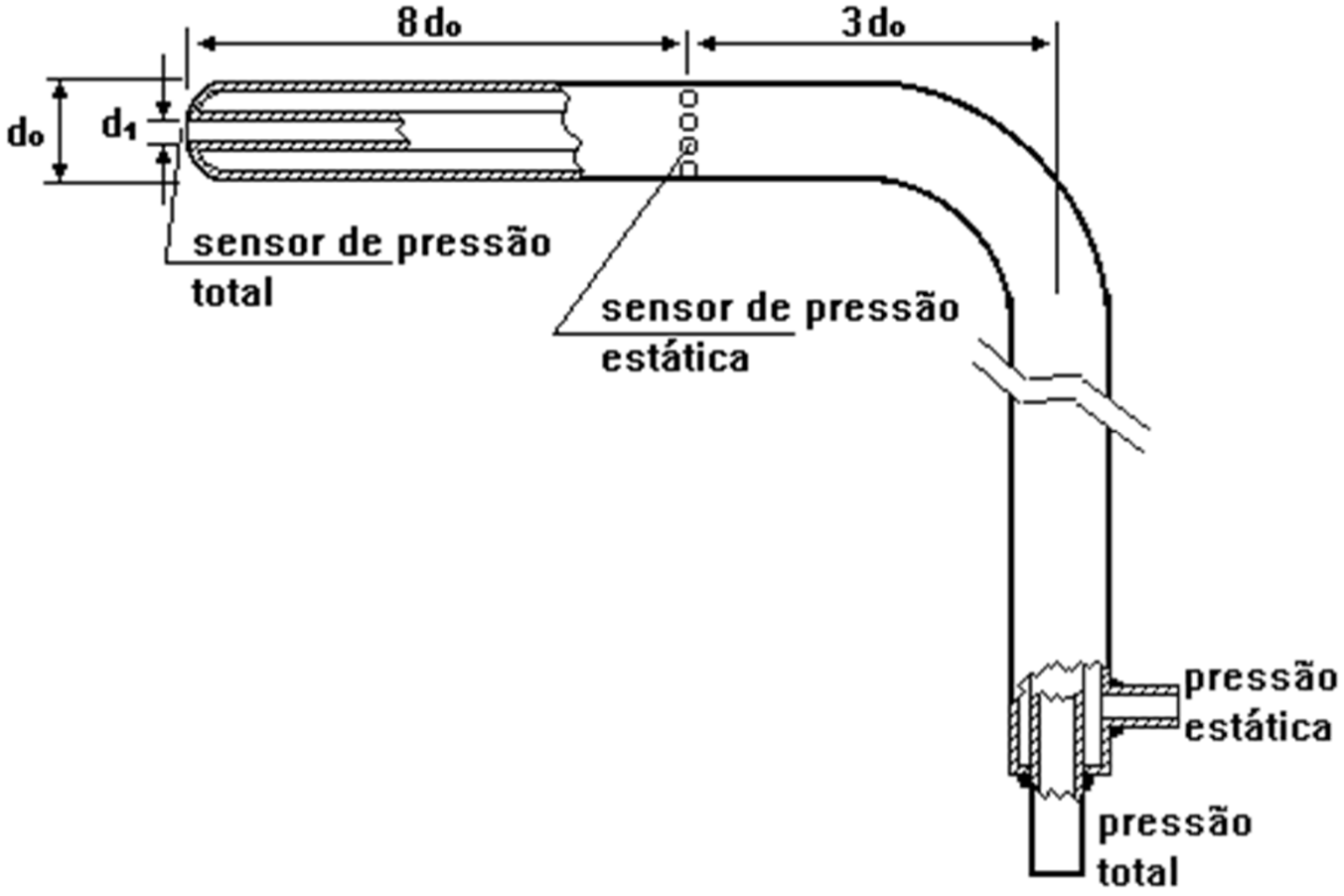
- Método da insensibilidade inerente
- Método da realimentação com alto ganho
- Método da correção por cálculo
- Método da filtragem de sinal

# Exemplo do método de filtragem




(g)

# Exemplo do método da entrada oposta



# Tratamento de dados

## Precisão e erro sistemático

Caracterizados por erros associados ao processo de medida.

- Precisão: parte do erro que ocorre devido ao controle estatístico (sempre presente).
- Erro sistemático: parte do erro devido a problemas construtivos (geralmente eliminado pela calibração).

# Combinação das componentes do erro.

Sistema de medida composto por uma cadeia de componentes, cada um sujeito a própria imprecisão.

- Duas questões:
  - Conhecidas as imprecisões de cada componente, qual a acurácia final?
  - Se a acurácia final é requerida, que erros são permitidos nos instrumentos individuais?

# Propagação de erros

- Consideremos o cálculo de uma grandeza $N$, que é uma função conhecida de $n$ variáveis independentes $u_1, u_2, u_3, \ldots\ u_n$:

  - $N = f(u_1, u_2, u_3, \ldots\ u_n)$

- Os $u_i$ são grandezas medidas sujeitas aos erros $\pm\Delta u_i$ considerados como limites absolutos, portanto:

  - $N \pm \Delta N = f(u_1 \pm \Delta u_1, u_2 \pm \Delta u_2, u_3 \pm \Delta u_3, \ldots\ u_n \pm \Delta u_n)$

# Propagação de erros

Usando a expansão em série de Taylor:

f(x) = f(a) +(x-a).f'(a) + ½.(x-a)$^2$.f''(a) + ...

aplicada à variável N, com apenas o primeiro termo.
Como N é função de diversas variáveis:

$$N \pm \Delta N = f(u_1, u_2, u_3, u_4, \ldots u_n) + \left(\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1} + \Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1} + \ldots + \Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right)$$

Mas $N = f(u_1, u_2, u_3, \ldots \; u_n)$ então

$$\Delta N = \Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1} + \Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1} + \ldots + \Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}$$

# Propagação de erros

- Como admite-se que os erros sempre somam, toma-se o valor absoluto de cada parcela:

$$\Delta N = \left|\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1}\right| + \left|\Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2}\right| + \ldots + \left|\Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right|$$

- Se os limites de erro são estatísticos então $\Delta N$:

$$\Delta N = \sqrt{\left(\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1}\right)^2 + \left(\Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2}\right)^2 + \ldots + \left(\Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right)^2}$$

# Algarismos significativos

- Quantos algarismos têm significado em uma medição?
- Algarismos significativos são todos os dígitos isentos de dúvidas adicionado do primeiro dígito duvidoso e mais nenhum.
- As calculadoras fornecem muitas casas decimais. São todas úteis?
- Como fazer o arredondamento?
- Como são propagadas as casas decimais nas operações?

# Arredondamento

- Para arredondar um número para ***n*** algarismos significativos, despreze todos os dígitos após o enésimo digito. Se o número descartado for menor que metade da unidade no enésimo lugar o digito ***n*** fica inalterado. Se for maior que a metade aumente o digito ***n*** de 1. Se for igual a metade deixe inalterado se for par ou some 1 se for impar.

# Regras p/ arredondamento nas operações numéricas

## Soma:

- Arredonde os números mais acurados para um digito decimal a mais que o número de dígitos decimais do menos acurado. Some e arredonde o resultado para o mesmo número de dígitos decimais que o menos acurado
  - 2,635 → 2,64
  - 0,9 → 0,9
  - 1,52 → 1,52
  - <u>0,7345</u> → <u>0,74</u>
  - 5,79 → 5,8

# Regras p/ arredondamento nas operações numéricas

# Subtração

- Arredonde o mais acurado para o mesmo número de dígitos decimais do menos acurado. Forneça o resultado com o mesmo número de casas decimais do menos acurado.

  - 7,6345 → 7,634
  - -0,031 → -0.031
  - → 7,603 → 7,603

# Regras p/ arredondamento nas operações numéricas

## Multiplicação e divisão

- Arredonde os números mais acurados para um algarismo significativo a mais que o do menos acurado. Calcule e arredonde o resultado para o mesmo número de algarismos significativos que o menos acurado.

- $\frac{(1{,}2).(6{,}335).(0{,}0072)}{3{,}141592} \rightarrow \frac{(1{,}2).(6{,}34).(0{,}0072)}{3{,}14} = 0{,}0174 \rightarrow 0{,}017$

# Cálculo da média

- Nos processos de medida é recomendado a realização de várias medidas do mesmo ponto e usar a sua média para representá-lo.
- É usual adotar-se a média aritmética de N medidas dada por:

- Ex.: 4; 5; 6; 4; 7; 4; 6; 5; 8 ➔ Média = 5,4

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_i}{N}$$

# Outros tipos de “*média*”

- MODA – É um tipo de média aritmética que define a média como o valor de maior frequência no conjunto de medidas.
  - Ex.: 4; 5; 6; 4; 7; 4; 6; 5; 8 ➔ Moda = 4

- MEDIANA – É um tipo de média aritmética que define a média como o valor que ocupa a posição central do intervalo de medidas.
  - E.: 4; 5; 6; 4; 7; 4; 6; 5; 8
  - E.: 4; 4; 4; 5; 5; 6; 6; 7; 8 ➔ Mediana = 5

# Outros tipos de *“média”*

- PONDERADA – É um tipo de média aritmética que usa a atribuição de pesos às medidas, pretendendo valorizar as medidas de maior significado. Quando se usa a frequência do valor no conjunto de medidas como peso, obtém-se valores equivalentes à media simples:
  - Ex.: 4; 5; 6; 4; 7; 4; 6; 5; 8 ➔ média = 5,4
  -

$$\bar{X} = \frac{3 * 4 + 2 * 5 + 2 * 6 + 1 * 7 + 1 * 8}{9} = 5{,}4$$

# Outros tipos de ***"média"***

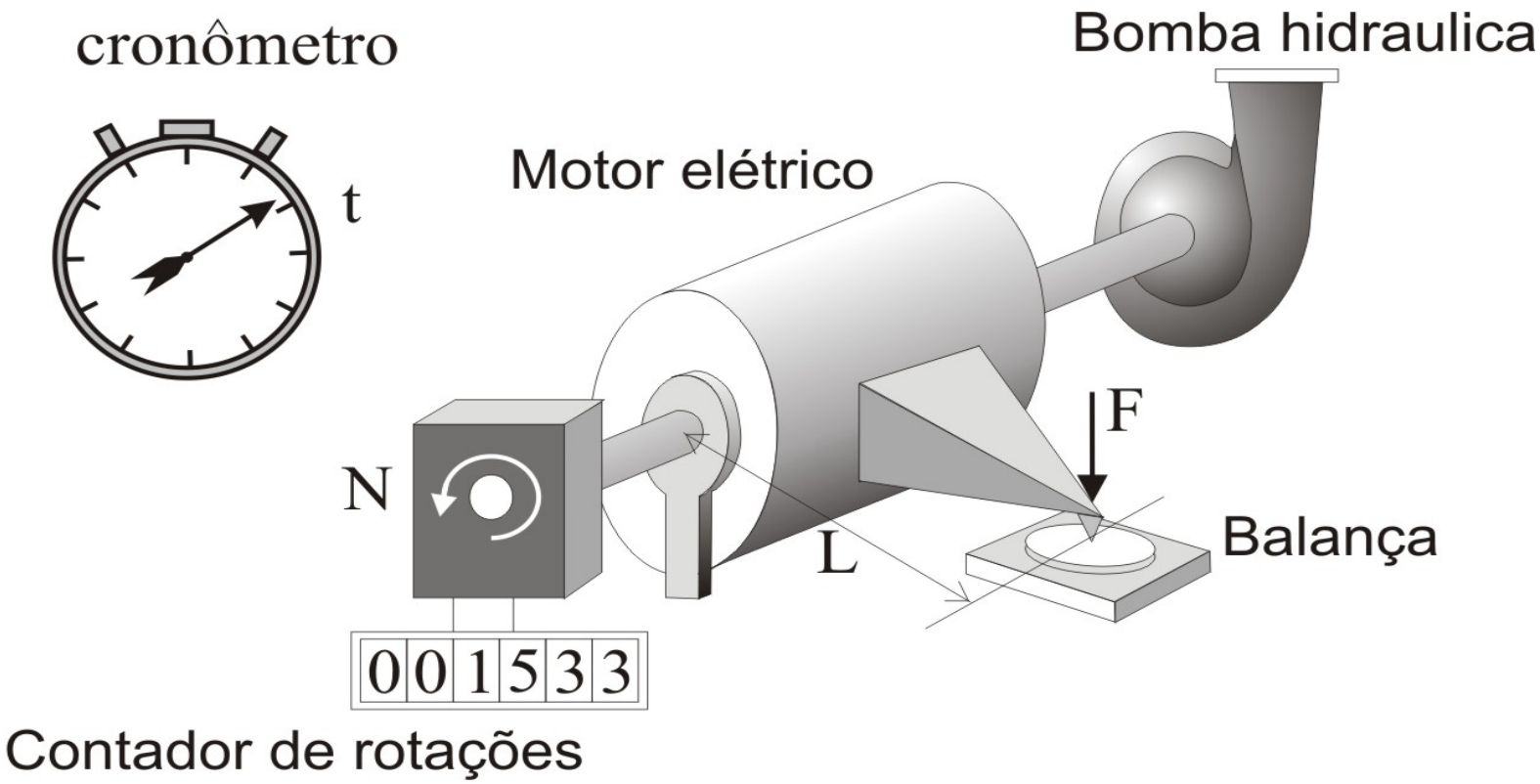
- GEOMETRICA – Calculada pela raiz enésima dos n valores obtidos. Tem aplicação mais restrita.
- Ex.: 4; 5; 6; 4; 7; 4; 6; 5; 8 ➔ média = 5,3

- HARMÔNICA – Calculada como o inverso da média dos inversos dos valores obtidos. Tem emprego raro na instrumentação.

$$\bar{X} = \sqrt[9]{4 * 5 * 6 * 4 * 7 * 4 * 6 * 5 * 8} = 5{,}3$$

# Cálculo da propagação das incertezas
# Exemplo 1

- Medida e Cálculo da potência mecânica



# Medidas e cálculo da potência

- L [m] comprimento do eixo à ponta da haste
- F [N] força medida na balança
- N [rotações] número de voltas do eixo
- t [s] tempo de operação

$$\dot{W} = T.\omega$$

Em que

$T$ = torque (N.m) $T = F.L$

ω = velocidade angular (rad/s) $\omega = 2\pi.N / t$

# Dados

$$\dot{W} = \frac{F.L.2\pi.N}{t}$$

$$\Delta\dot{W} = \left|\Delta N \frac{\partial \dot{W}}{\partial N}\right| + \left|\Delta F \frac{\partial \dot{W}}{\partial F}\right| + \left|\Delta L \frac{\partial \dot{W}}{\partial L}\right| + \left|\Delta t \frac{\partial \dot{W}}{\partial t}\right|$$

- N = 1.202 ± 1,0 rotações
- F = 51 ± 0,20 N
- L = 0,500 ± 0,001 m
- t = 57,4 ± 0,50 s

# Resultado do exemplo1

$$\dot{W} = \frac{F.L.2\pi.N}{t} = 3355\ W$$

- Usando a eq. para limite absoluto p/ a incerteza

$$\Delta\dot{W} = \left|\Delta N\frac{\partial\dot{W}}{\partial N}\right| + \left|\Delta F\frac{\partial\dot{W}}{\partial F}\right| + \left|\Delta L\frac{\partial\dot{W}}{\partial L}\right| + \left|\Delta t\frac{\partial\dot{W}}{\partial t}\right| = 53\ W$$

- Usando a eq. para limite estatístico p/ a incerteza :

$$\Delta\dot{W} = \sqrt{\left(\Delta N\frac{\partial\dot{W}}{\partial N}\right)^2 + \left(\Delta F\frac{\partial\dot{W}}{\partial F}\right)^2 + \left(\Delta L\frac{\partial\dot{W}}{\partial L}\right)^2 + \left(\Delta t\frac{\partial\dot{W}}{\partial t}\right)^2} = 33\ W$$

# Exemplo 2: Cálculo inverso

- Supondo uma incerteza definida para a potência, quais devem ser as incertezas de cada instrumento.

$$\Delta N = \left|\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1}\right| + \left|\Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2}\right| + \ldots + \left|\Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right|$$

$$\left|\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1}\right| = \left|\Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2}\right| = \ldots = \left|\Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right|$$

  - Supondo que todos os instrumentos terão a mesma contribuição para a incerteza:

$$\Delta N = n. \left|\Delta u_i \frac{\partial f}{\partial u_i}\right|$$

$$\left|\Delta u_i \frac{\partial f}{\partial u_i}\right| = \frac{\Delta N}{n}$$

# Exemplo

- Incerteza da potência = ± 0,5% = ± 17 W
  - 4 medidas → cada uma colabora com ± 4,25 W

$$\left|\Delta F \frac{\partial \dot{W}}{\partial F}\right| = 4{,}25$$

$$\left|\Delta L \frac{\partial \dot{W}}{\partial L}\right| = 4{,}25$$

$$\left|\Delta N \frac{\partial \dot{W}}{\partial N}\right| = 4{,}25$$

$$\left|\Delta t \frac{\partial \dot{W}}{\partial t}\right| = 4{,}25$$

# Resultado do Exemplo 2

| Limite absoluto | | Limite estatístico | |
|---|---|---|---|
| W = | 3355 W | W = | 3355 W |
| $\Delta$W = | 17 W | $\Delta$W = | 17 W |
| $\Delta$N = | 1,5 rotações | $\Delta$N = | 3,0 rotações |
| $\Delta$F = | 0,064 N | $\Delta$F = | 0,13 N |
| $\Delta$L = | 0,00063 m | $\Delta$L = | 0,0013 m |
| $\Delta$t = | -0,072 s | $\Delta$t = | -0,14 s |

- Calculadas as incertezas elas devem ser verificadas em relação à instrumentação disponível e refinadas.

# Legibilidade

Compreensão da apresentação dos dados fornecida por um instrumento:

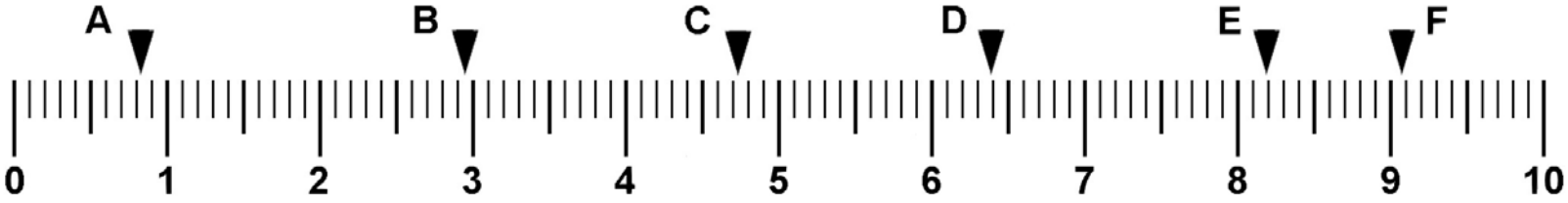
- Característica que depende do instrumento e do observador.
- Aparelhos digitais tornaram a legibilidade mais acurada.
- Saídas analógicas ou gráficas ainda oferecem problemas de legibilidade. Saídas gráficas de computadores usam o conceito de escala.

# Tipos de escalas

- Linear

- Não Linear

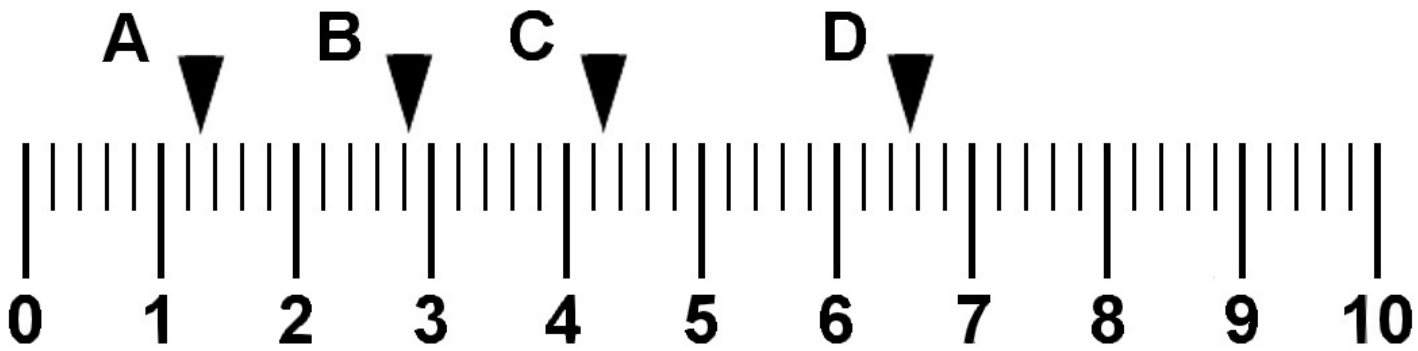
# Prática de leitura de escalas



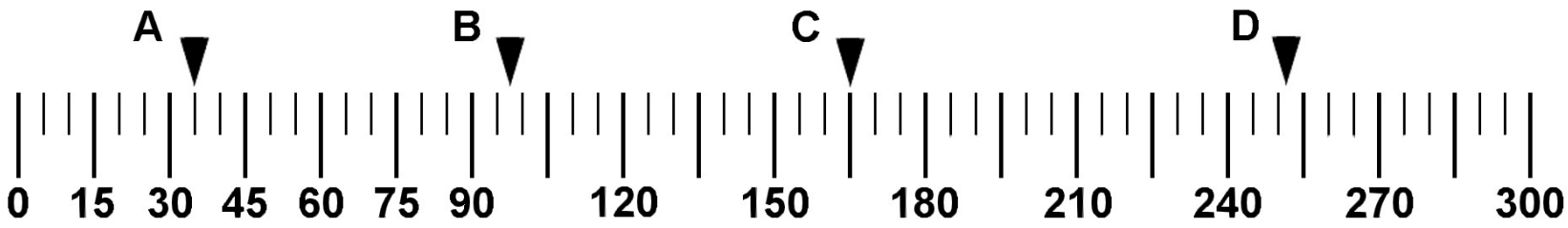

- A resolução de uma escala sendo de meia subdivisão, não se deve interpolar valores menores do que este. (Como em A, C e E).
- Quando a indicação é mais próxima do meio da subdivisão do que das extremidades, adota-se o valor intermediário. (Como em B).
- Em caso de dúvida, adota-se o valor que dá a última casa par. (Como em F)

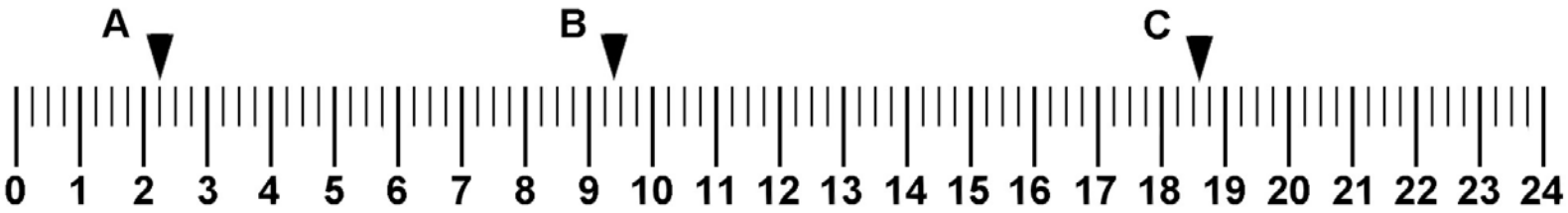
# Outras escalas

- Base 5




- Escala base 3 (típica de instrumentos de medir graus)



# Outras escalas

- Escala de base 4 (adequada a leituras com frações ordinárias)