



EESC • USP

SEL0452 – Medidas e Circuitos Elétricos

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação
Prof. Rogério Andrade Flauzino

SEL0452 – Medidas e Circuitos Elétricos
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação
Prof. Rogério Andrade Flauzino

CAPÍTULO 4 **INTRODUÇÃO A MEDIDAS** **ELÉTRICAS**

4.1. Conceitos Básicos

- **Medir** é estabelecer uma relação numérica entre uma grandeza e outra, de mesma espécie, tomada como unidade.
- **Medidas elétricas** só podem ser realizadas com a utilização de instrumentos medidores, que permitem a quantificação de grandezas cujo valor não poderia ser determinado por meio dos sentidos humanos.

4.1. Conceitos Básicos

- **Padrão:** é a grandeza que serve de base ou referência para a avaliação da quantidade ou da qualidade da medida.
 - ✓ **Permanência:** o padrão não pode se alterar com o passar do tempo nem com a modificação das condições atmosféricas;
 - ✓ **Reprodutibilidade:** a capacidade de obter uma cópia fiel do padrão.

4.1. Conceitos Básicos

- O **erro** é empregado para indicar a diferença entre o valor verdadeiro e o resultado de uma medição.

$$\text{Resultado da medição} = \text{valor verdadeiro} + \text{erro}$$

- Erros **são inerentes** a todo o tipo de medidas e podem ser minimizados, porém dificilmente eliminados completamente.

4.1. Conceitos Básicos

- Em medidas elétricas, costuma-se considerar três categorias de erros:

1. Grosseiros

2. Sistemáticos

3. Aleatórios

4.1. Conceitos Básicos

1. Grosseiros

- São atribuídos ao operador do equipamento e, pode-se dizer que resultam da falta de atenção.
- A ligação incorreta do instrumento, a transcrição equivocada do valor de uma observação ou o erro de paralaxe, são alguns exemplos.
- Esses erros podem ser minimizados através da repetição atenta das medidas, seja pelo mesmo observador ou por outros.

4.1. Conceitos Básicos

2. Sistemáticos

- Devem-se as deficiências do instrumento ou do método empregado e às condições sob as quais a medida é realizada.

a) Instrumentais

- ✓ Inerentes aos equipamentos de medição, tais como escalas mal graduadas, oxidação de contatos, desgaste de peças e descalibração.

4.1. Conceitos Básicos

2. Sistemáticos

a) Instrumentais

- ✓ Podem ser minimizados usando-se instrumentos de boa qualidade e fazendo-se sua manutenção e calibração adequadas.

b) Ambientais

- ✓ Referem-se às condições do ambiente externo ao aparelho, incluindo pressão temperatura, umidade, e campos eletromagnéticos

4.1. Conceitos Básicos

2. Sistemáticos

b) Ambientais

- ✓ Para diminuir a incidência desses erros pode-se trabalhar em ambientes climatizados e providenciar a blindagem dos aparelhos em relação a campos eletromagnéticos.

4.1. Conceitos Básicos

3. Aleatórios

- Também chamados erros acidentais, devem-se a fatores imponderáveis (incertezas), como a ocorrência de transitórios em uma rede elétrica e ruídos provenientes de sinais espúrios.
- Como não podem ser previstos, sua limitação é muito difícil.

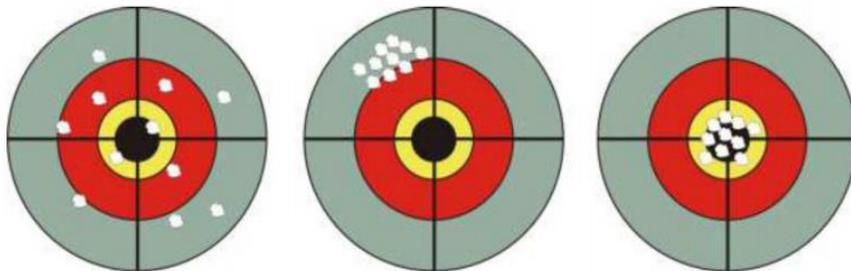
4.1. Conceitos Básicos

- No tratamento de erros os termos **exatidão** e **precisão**, embora sejam muitas vezes usados como sinônimos, têm significado diferentes.
- **Exatidão**: é a propriedade que exprime o afastamento que existe entre o valor lido no instrumento e o valor verdadeiro da grandeza que se está medindo.

4.1. Conceitos Básicos

- **Precisão:** característica de um instrumento de medição, determinada por meio de um processo estatístico de medições, que exprime o afastamento mútuo entre diversas medidas em relação à média aritmética dessas medidas (Norma P-NB-278/73, da ABNT).
- A precisão é, portanto, uma qualidade relacionada com a **repetibilidade** das medidas, isto é, indica o grau de **espalhamento** de uma série de medidas em torno de um ponto.

4.1. Conceitos Básicos



Baixa exatidão
Baixa precisão

Baixa exatidão
Alta precisão

Alta exatidão
Alta precisão

4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- Os instrumentos de medidas elétricas podem ser classificados quanto à:
 - 1. Grandeza a ser medida:** amperímetro (corrente); voltímetro (tensão); wattímetro (potência ativa); varímetro (potência reativa); fasímetro ou cosifímetro (defasagem entre tensão e corrente ou $\cos\phi$); ohmímetro (resistência); capacímetro (capacitância); frequencímetro (frequência).

4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- 2. Forma de apresentação dos resultados**
 - ✓ Analógicos - nos quais a leitura é feita de maneira indireta, usualmente através do posicionamento de um ponteiro sobre uma escala.
 - ✓ Digitais - fornecem a leitura diretamente em forma alfa-numérica num display.

4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas



4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas



4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Comparativo Analógicos/Digitais**

- ✓ Digitais

- ❖ Comodidade do operador para a leitura
- ❖ Queda dos preços
- ❖ Maior exatidão
- ❖ Redução de erros grosseiros

4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

- **Comparativo Analógicos/Digitais**

- ✓ Analógico

- ❖ Mais robustos
- ❖ Melhor visualização de variações rápidas da grandeza a ser medida
- ❖ Muito encontrado em oficinas e painéis de controle industriais

4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

3. Capacidade de armazenamento das leituras

- a) **Indicadores** - capazes de fornecer somente o valor da medida no instante em que a mesma é realizada



4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

3. Capacidade de armazenamento das leituras

- b) **Registradores** - capazes de armazenar certo número de leituras



4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

3. Capacidade de armazenamento das leituras

- c) **Totalizadores** -
apresentam o valor
acumulado da
grandeza medida



4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

4. Princípio físico utilizado para a medida

- ✓ Bobina móvel
 - ✓ Ferro móvel
 - ✓ Indutivo
 - ✓ Ressonante
 - ✓ Eletrostático
- ➔ Analógico
- ✓ Circuitos eletrônicos
- ➔ Digitais

4.2. Classificação dos Instrumentos de Medidas Elétricas

5. Finalidade de utilização

- Laboratórios: aparelhos que primam pela exatidão e precisão
- Industriais: primam pela robustez, apropriados para o trabalho diário sob condições diversas

6. Portabilidade

- Fixos ou de bancada, portáteis de painel.

4.3. Instrumentos Analógicos

- O instrumento analógico tem como fundamentação básica a **medida de corrente** (amperímetro).
- Adaptações feitas neste medidor permitem que seja usado para a medida de outras grandezas, como tensão e resistências.



4.3. Instrumentos Analógicos

1. Características Construtivas

- Baseiam sua operação em fenômenos:
 - ✓ **Eletromagnéticos** - ação de um campo magnético sobre uma espira percorrida por corrente elétrica.
 - ✓ **Eletrostático** - repulsão entre duas superfícies carregadas com cargas elétricas de mesmo sinal.
- Necessidade de blindagem

4.3. Instrumentos Analógicos

1. Características Construtivas

- Mecanismo de suspensão
 - ✓ Parte mais delicada do instrumento analógico
 - ✓ Fixação da parte móvel (ponteiro)
 - ✓ Movimento com baixo atrito

4.3. Instrumentos Analógicos

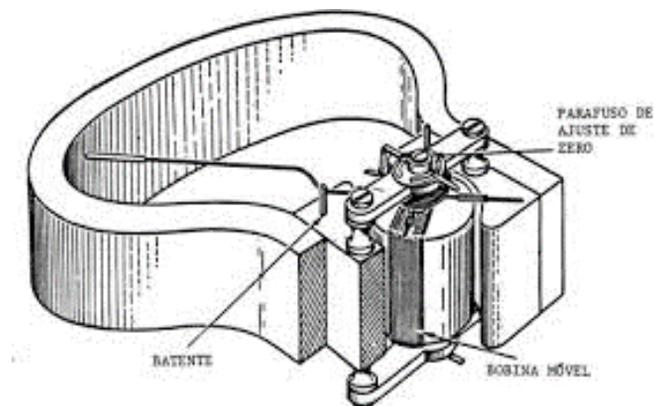
1. Características Construtivas

- Tipos de suspensão

- ✓ **Por fio:** instrumentos de precisão
- ✓ **Por pivô:** composto de um eixo de aço apoiadas em mancais de rubi ou safira
- ✓ **Por suspensão magnética:** atração ou repulsão entre pequenos ímãs

4.3. Instrumentos Analógicos

1. Características Construtivas



4.3. Instrumentos Analógicos

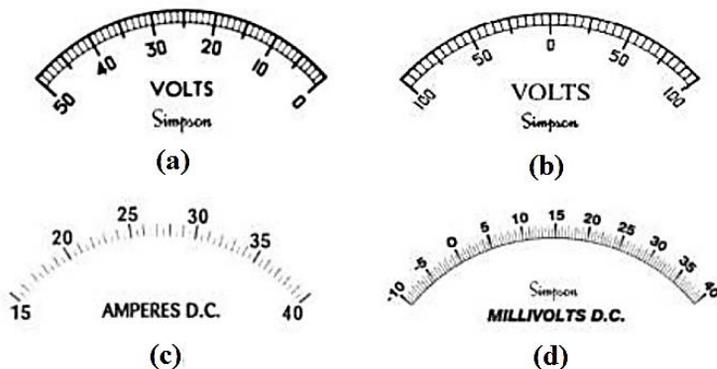
1. Características Construtivas

- **Escala**

- ✓ **Fundo de escala ou calibre:** o máximo valor que determinado instrumento é capaz de medir sem correr o risco de danos.
- ✓ **Posição do zero:** a posição de repouso do ponteiro, quando o instrumento não está efetuando medidas.

4.3. Instrumentos Analógicos

1. Características Construtivas



- (a) Zero à direita; (b) Zero central;
 (c) Zero suprimido; (d) Zero deslocado

4.3. Instrumentos Analógicos

1. Características Construtivas

- Escala

- ✓ **Correção do efeito de paralaxe:** a medida deverá ser feita quando a posição do observador é tal que o ponteiro e sua imagem no espelho coincidam.



4.3. Instrumentos Analógicos

1. Características Construtivas

- Escala

- ✓ **Linear (ou homogênea):** quando a valores iguais correspondem divisões iguais.
- ✓ **Não-Linear:** caso contrário.

4.3. Instrumentos Analógicos

2. Principais Características Operacionais

- **Sensibilidade**

- ✓ Grandeza que se relaciona à resistência interna dos instrumentos.

$$S = \frac{1}{I_{MAX}}$$

- ✓ I_{MAX} - corrente necessária para produzir a máxima deflexão no ponteiro

4.3. Instrumentos Analógicos

2. Principais Características Operacionais

- **Valor fiducial**

- ✓ Valor de referência para a especificação da classe de exatidão do instrumento.

Tipo de escala	Valor fiducial
Zero à esquerda	Valor de fundo de escala
Zero central ou deslocado	Soma dos valores das duas escalas
Zero suprimido	Valor de fundo de escala

4.3. Instrumentos Analógicos

2. Principais Características Operacionais

- **Resolução**

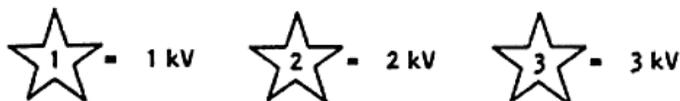
- ✓ Determina a capacidade que tem um instrumento de diferenciar grandezas com valores próximos entre si.
- ✓ Em instrumentos analógicos, se refere a diferença entre esses valores é dada por duas divisões adjacentes em sua escala.

4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- **Tensão de isolamento ou tensão de prova**

- ✓ É o valor máximo de tensão que um instrumento pode receber entre sua parte interna (de material condutor) e sua parte externa (de material isolante).



4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

• Posição

- ✓ Instrumentos de painel usualmente são projetados para funcionamento na posição vertical, porém outras posições podem ser viáveis.
- ✓ O uso de um instrumento em posição diferente daquela para a qual foi projetado pode ocasionar erros grosseiros de leitura.

4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

• Posição

Posição	Simbolo	Ângulo de Montagem
1		$\alpha > 90^\circ$
2		$\alpha = 90^\circ$
3		$\alpha < 90^\circ$
4		$\alpha = 0^\circ$

Posição de montagem	Instrumento
	Instrumento utilizado na posição vertical
	Instrumento utilizado na posição horizontal
	Instrumento utilizado na posição inclinada - o número dá a inclinação (neste exemplo, 60°)

4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Classe de exatidão

- ✓ A classe de exatidão de um instrumento fornece o erro admissível em porcentagem entre o valor indicado pelo instrumento e o fiducial, levando-se em consideração o valor do fundo de escala.

4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Classe de exatidão

- ✓ Por exemplo, se um amperímetro de classe 0,5 tem amplitude de escala de 0 a 200 mA, seu erro máximo admissível em qualquer ponto da escala é:

$$\varepsilon = \frac{0,5 \times 200}{100} = 1 \text{ mA}$$

4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Classe de exatidão

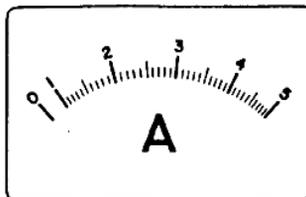
Classes de exatidão de instrumentos de medidas elétricas

Classe	Instrumentos de alta precisão			Instrumentos para fins normais			
	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	5,0
Erro em percentagem do valor, no final da escala	± 0,1	± 0,2	± 0,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	± 5,0

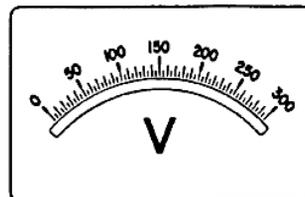
4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Unidade de Medida



A = Ampères
Amperímetro

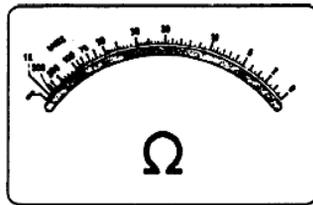


V = Volts
Voltímetro

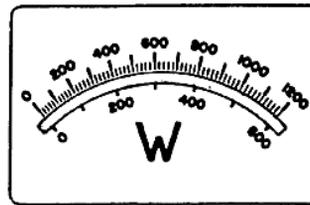
4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Unidade de Medida



Ω = Ohm
Ohmímetro

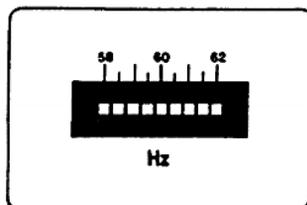


W = Watts
Wattímetro

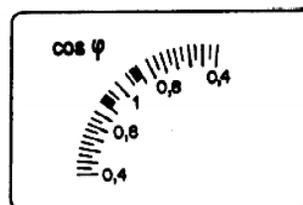
4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Unidade de Medida



f ou Hz = frequência
Freqüencímetro



cos φ ou φ = fator de potência
Fasímetro

4.3. Instrumentos Analógicos

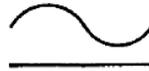
3. Simbologia

- **Tipo de corrente**

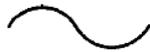
Somente Corrente Contínua



Ambas as Correntes - Contínua e Alternada



Somente Corrente Alternada



4.3. Instrumentos Analógicos

3. Simbologia

- Exemplo

Amperímetro analógico de ferro móvel

Escala não linear

Medição de correntes contínua ou alternada

Classe de exatidão 2

Medição na posição horizontal

Classe de isolamento de 500 V

