

Características estáticas de Instrumentos Medidores

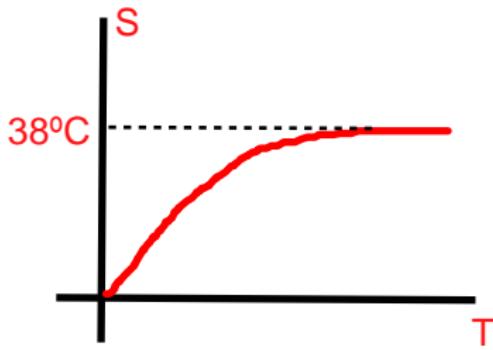
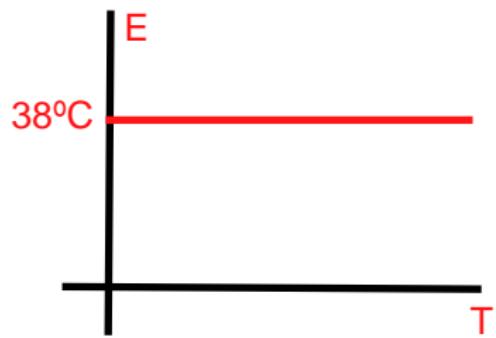
Samir A. M. Martins¹

¹Universidade Federal de São João del-Rei
Departamento de Engenharia Elétrica
São João del-Rei, MG – Brasil

Graduação em Engenharia Elétrica

O que nos espera?

1 Características estáticas de Instrumentos Medidores



Características estáticas de Instrumentos Medidores

Do que estamos falando sobre?

- A análise estática é a análise realizada em um instrumento a partir do momento em que, mantendo o mensurando fixo, não há alteração na saída.
- Análise em **regime permanente**.

- **Erros de medição:** inerentes ao processo de medição de uma variável

O valor verdadeiro de uma grandeza
não pode ser determinado!

- Matematicamente, o erro é definido como a diferença algébrica entre o valor medido e o valor verdadeiro, ou seja:

$$E = y - y_v, \quad (1)$$

sendo E o erro de medição, y o valor medido e y_v o valor verdadeiro.

→ Esta variável pode ser decomposta no somatório de erro aleatório (EA) e erro sistemático (ES)

Erro Aleatório

- **Erro aleatório:** origina-se de variações temporais ou espaciais, imprevisíveis, que influenciam na medição de uma grandeza. Matematicamente definido por:

$$EA = y - \bar{y}, \quad (2)$$

sendo y o valor medido e \bar{y} a média de infinitas medições.

- **Erro sistemático:** origina-se de um efeito conhecido e repetitivo de um valor de medição. Pode ser reduzido se for quantificado e aplicado um fator de correção.
Matematicamente definido por:

$$ES = \bar{y} - y_v, \quad (3)$$

sendo \bar{y} e y_v definidos anteriormente.

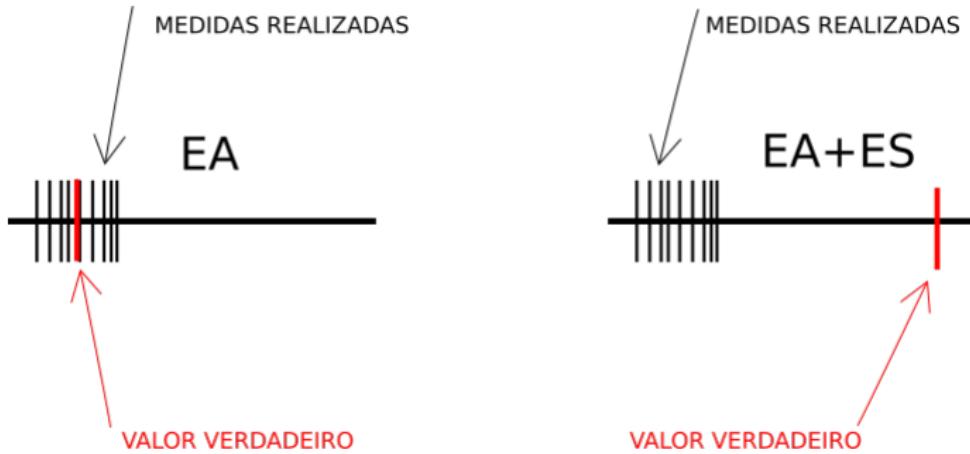


Figura: Representação na reta real - EA e EA+ES.

- **Exatidão:** grau de concordância entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro de um mensurando. Pode ser expressa como um desvio de um valor conhecido.
- **Precisão:** conceito qualitativo utilizado para caracterizar resultados com erros estatísticos pequenos.
- Em um bom conjunto de medições tem-se medições com bom grau de precisão e exatidão (**ambos**).

Exatidão versus Precisão

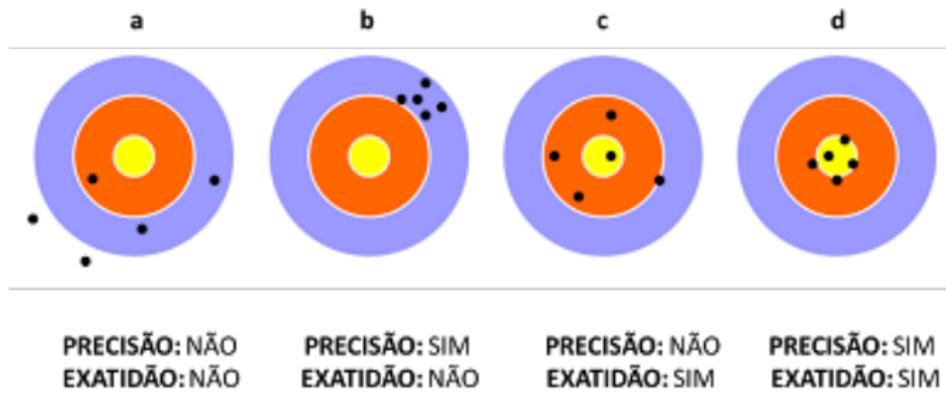


Figura: Comparação entre medidas com boa precisão e exatidão

- **Repetibilidade:** resultado de uma sequência de medidas da saída, com a mesma entrada, nas mesmas condições de operação.
→ fator primário para se determinar a precisão de um instrumento medidor.

- Matematicamente definido por:

$$R_p = \frac{MAX_{MED} - MIN_{MED}}{FES} \times 100 \quad (4)$$

ou

$$R_p = \frac{MAIOR_{DESV} - MEDIA}{FES} \times 100 \quad (5)$$

sendo MAX_{MED} o maior valor medido, MIN_{MED} o menor e $MAIOR_{DESV}$ o maior desvio em relação à $MEDIA$. FES é o fundo de escala de saída.

- **Resolução:** menor intervalo possível entre duas medidas discretas adjacentes. Evidencia limitações de hardware
→ Se um voltímetro tiver resolução de 1mV, o dígito menos significativo na escala é da unidade de mV.



Figura: A resolucao da régua básica é 1mm.

- **Sensibilidade:** razão da variação da saída, dada uma variação infinitesimalmente pequena na entrada, depois de ser alcançado o regime permanente.

→ Matematicamente:

$$\text{Sensibilidade} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}, \quad (6)$$

→ sendo y a saída (indicação do instrumento) e x a entrada (mensurando) em regime permanente.

- **Exemplo:** a sensibilidade de um medidor de temperatura é de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$. Isto significa que para cada grau Celsius de variação na entrada, há uma variação de 10mV na saída, em regime permanente.
- Conceito pode ser aplicado a sensores e instrumentos medidores
- Relação Sensibilidade vs tipo de comportamento (**simulação Python**).

- **Curva de calibração estática:** expressão matemática que relaciona a entrada e saída em regime permanente, sob condições especificadas.

Para sua obtenção, deve-se comparar a saída do sensor (ou instrumento) com diversos valores padrão daquela grandeza em um procedimento experimental.

Graficamente:

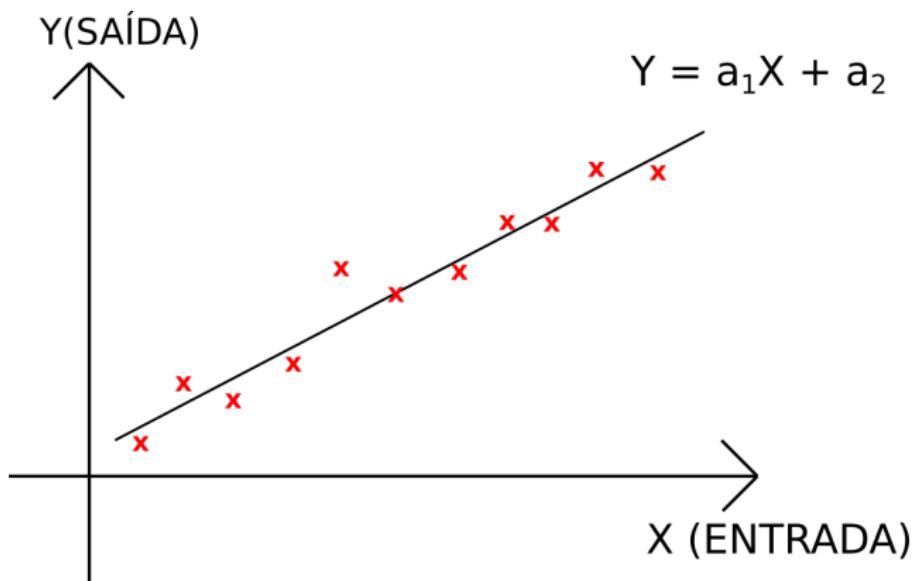


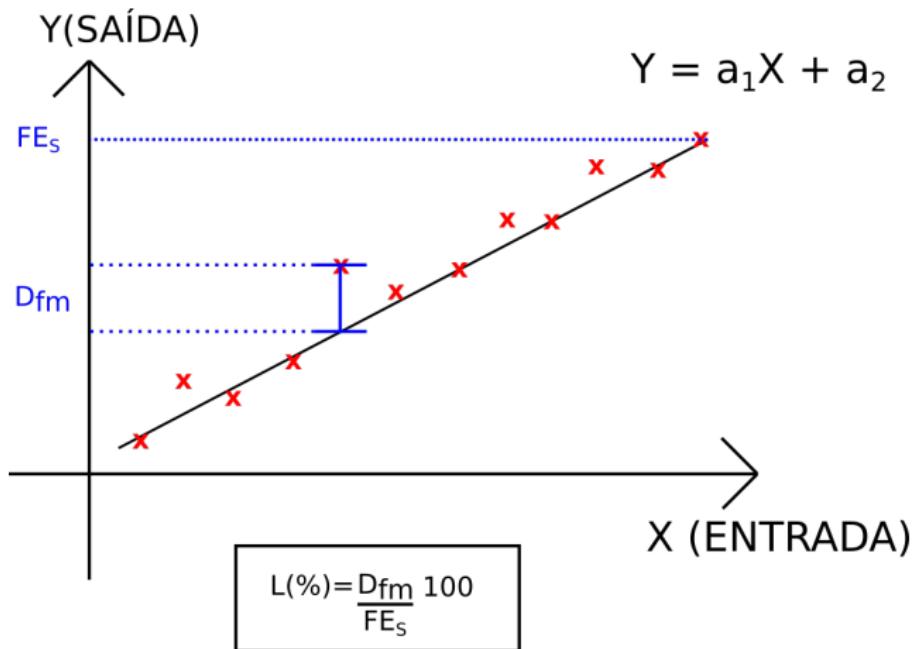
Figura: Exemplo de curva de calibração estática obtida empiricamente.

- **(Erro de) Linearidade:** parâmetro que indica o máximo desvio da relação entrada/saída (E vs S) de uma reta que melhor representa estes pares (E vs S)

→ Matematicamente:

$$L(\%) = \frac{D_{fm}}{FE_S} \times 100, \quad (7)$$

sendo D_{fm} a maior diferença entre os dados de saída e a reta que melhor aproxima os dados e FE_S o fundo de escala de saída.

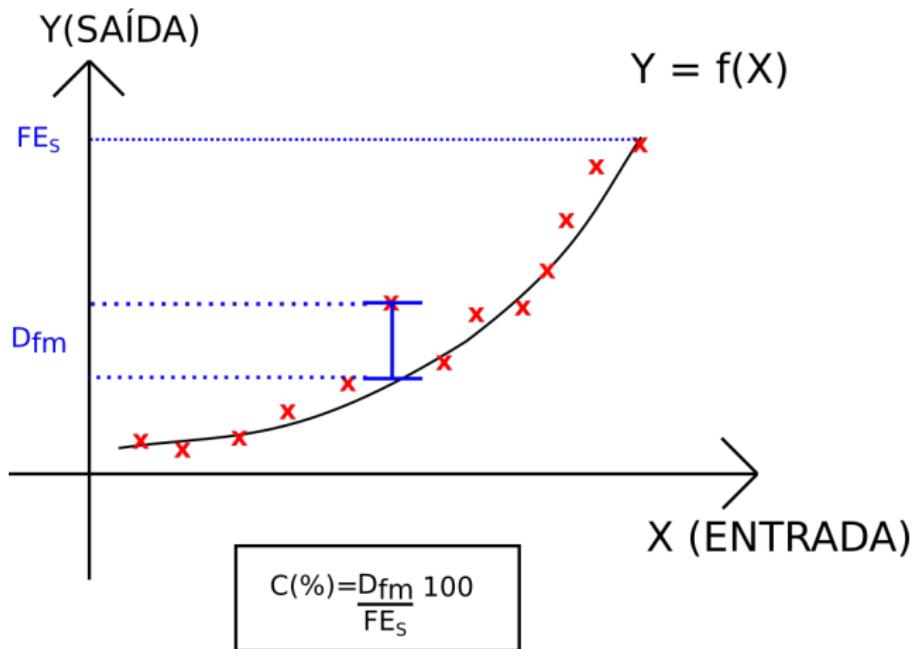


- **(Erro de) Conformidade:** parâmetro que indica o máximo desvio da relação entrada/saída (E vs S) de uma curva que melhor representa estes pares (E vs S)

→ Matematicamente:

$$C(\%) = \frac{D_{fm}}{FE_S} \times 100, \quad (8)$$

sendo D_{fm} a maior diferença entre os dados de saída e a curva que melhor aproxima os dados e FE_S o fundo de escala de saída.



- **Zona Morta:** faixa na qual a entrada varia, sem dar início à uma mudança observável na saída.

→ Graficamente:

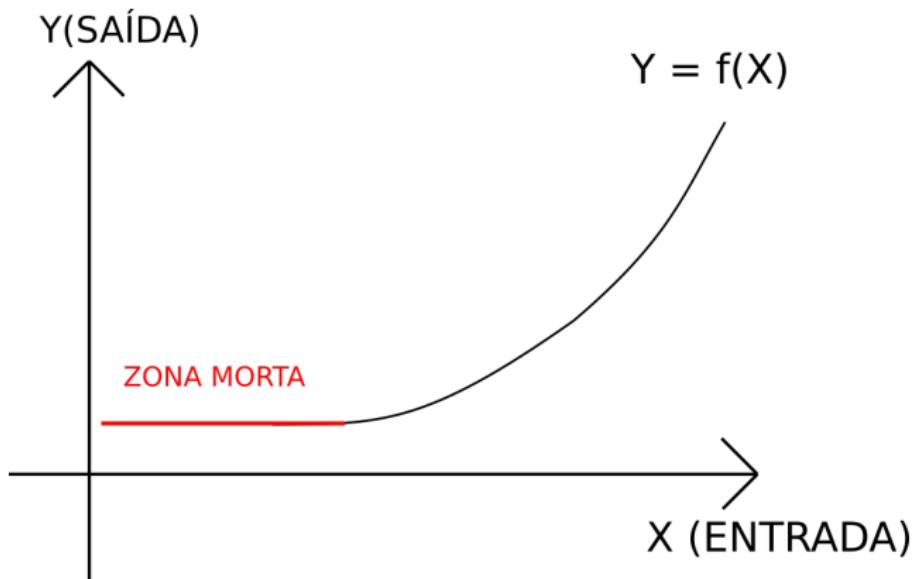


Figura: Exemplo de sistema que apresenta zona morta.

- **(Erro de) Histerese:** propriedade de um elemento sensor evidenciada pela dependência do valor da saída pelo histórico da entrada

→ O erro associado à ocorrência de histerese é quantificado por:

$$H(\%) = \frac{H_{max}}{FE_S} \times 100, \quad (9)$$

sendo H_{max} a máxima diferença entre leituras para um mesmo mensurando e FE_S o fundo de escala de saída.

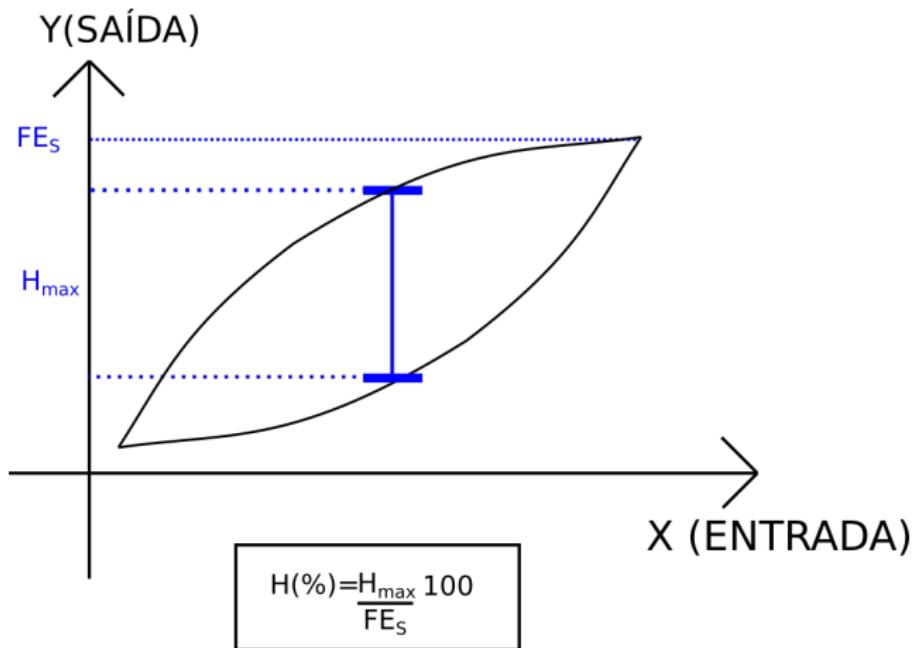


Figura: Exemplo de sistema que apresenta zona morta.

- **Faixa de Medição (Range):** região entre os limites nos quais a grandeza pode ser medida.
→ Exemplo: faixa de medição de um termômetro de -20 a $200^{\circ}C$
- **Amplitude (SPAN):** diferença algébrica entre os limites superior e inferior da escala de medidas. A amplitude do instrumento anteriormente citado é $220^{\circ}C$.

- **Deriva (Drift:)** mudança indesejável nas medições causadas por fatores ambientais (tempo, temperatura, ...) ou internos do sistema.
- **Estabilidade:** aptidão de um instrumento de medição em conservar suas características ao longo do tempo.