

Princípios de instrumentação

Amostragem e Análise Ambiental

J P de Melo e Abreu

Introdução

- Medição é a quantificação duma propriedade em unidades padrão.
 - Detecção nula (ex.: balança de dois pratos)
 - Detecção de diferenças (ex.: voltímetro)
- Medição directa (e.g., termómetro)
- Medição indirecta (detecção remota da temperatura)

Introdução (cont.)

- Instrumentos analógicos

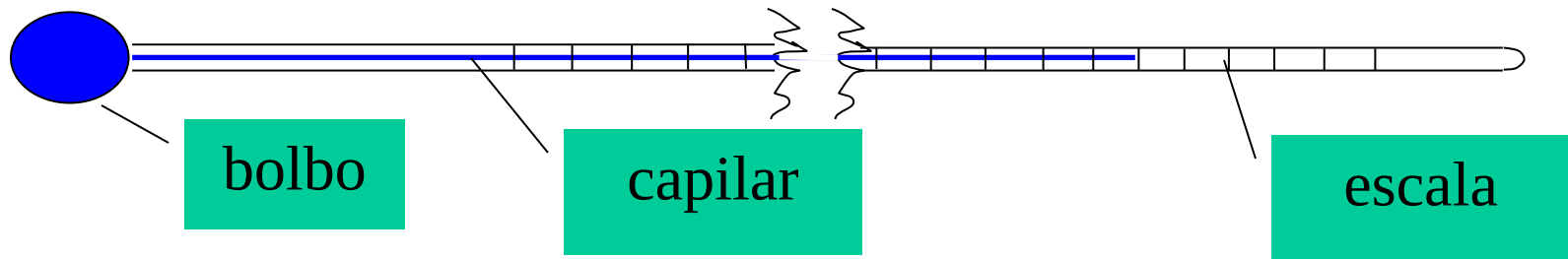


Esquema simplificado dum instrumento de medição analógico

- **Sensor/transdutor:** É a parte funcional do instrumento. O sensor acopla o instrumento à grandeza a medir e o transdutor transforma o sinal do sensor numa forma que pode ser usada pelo instrumento. Por vezes coincidem, mas noutras não. No caso do termómetro de mercúrio, por exemplo, o bolbo é o sensor e o mercúrio é o transdutor que varia de volume com as variações da temperatura.
- **Conversor de sinal:** transforma o sinal para que possa ser lido ou registado.
- **Indicador analógico:** Transforma o sinal fornecido pelo conversor numa forma que pode ser lida pelo operador.

Introdução (cont.)

- Por exemplo o termómetro:



- Sensor/transdutor: é o bolbo do instrumento e o mercúrio
- Conversor de sinal: é o tubo capilar da coluna de mercúrio.
- O indicador analógico: é a escala graduada.

Introdução (cont.)

- Instrumentos digitais

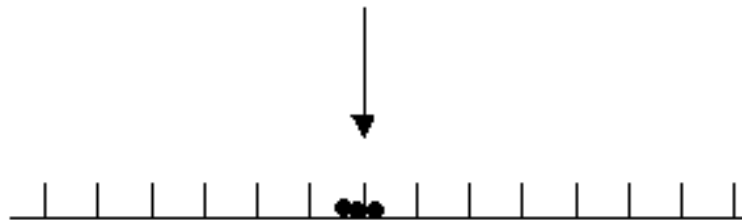


Esquema simplificado dum instrumento de medição digital

- **Sensor /transdutor** : os sensores/transdutores são semelhantes para os instrumentos analógicos e digitais.
- **Conversor analógico/digital**: além das funções exercidas pelos conversores analógicos de sinal, o conversor analógico/digital quantifica o sinal analógico e coloca-o em forma digital.
- **Mostrador digital**

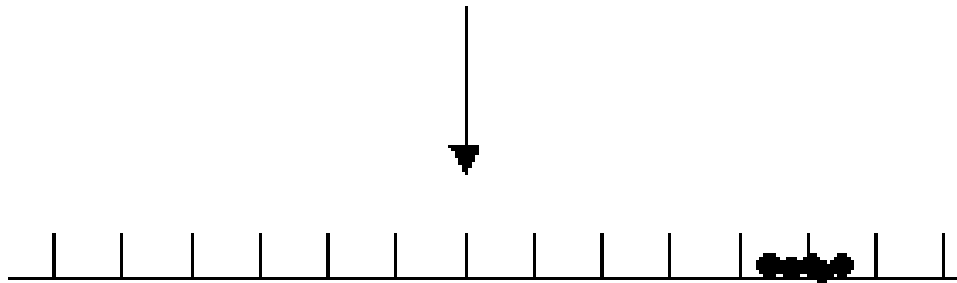
Características dos instrumentos

- **Exactidão:** Grau de concordância entre o resultado da medição e o verdadeiro valor da grandeza medida. Engloba ambos os erros: aleatórios e sistemáticos. É frequentemente expressa como uma percentagem da leitura (% leitura) ou da escala completa (% FS).



Características dos instrumentos (cont.)

- **Precisão (fidelidade)**: Descreve o grau de aproximação entre os resultados obtidos para várias leituras, ou medições, da mesma grandeza.



Características dos instrumentos (cont.)

- **Sensibilidade:** A mais pequena variação de entrada (*input*) que resulta numa alteração detectável na saída (*output*) do instrumento. Definição alternativa: Variação da resposta de um instrumento de medição a dividir pela correspondente variação de estímulo.
- **Resolução:** É a mais pequena divisão da escala ou o mais pequeno dígito que pode ser lido. Por exemplo, um termómetro que mostra até às centésimas tem uma resolução de 0,01 °C.
- **Fineza:** Traduz o grau de perturbação da grandeza a medir pela própria medição. É infinita se não há perturbação, ou nula se distorce completamente a medição.
- **Ruído:** Alteração da saída do instrumento que não está relacionada com alterações do parâmetro medido.
- **Estabilidade:** Refere-se a alterações ou deriva na detecção nula ou detecção de diferenças que ocorre com o decorrer do tempo ou com a temperatura. Apresenta-se em termos absolutos (e.g., mV dia⁻¹, mV °C⁻¹) ou relativos (e.g., % dia⁻¹, % °C⁻¹).

Características dos instrumentos (cont.)

- **Resposta dinâmica dos instrumentos (inércia instrumental)**

- Quando ocorre uma variação abrupta da grandeza a medir, o instrumento responde, de molde que a medição tende para o valor da grandeza. No tipo mais simples de resposta dinâmica dum instrumento, a resposta é proporcional à diferença existente entre o valor da medição que é indicado (x) e o valor da grandeza a medir (u):

$$\frac{dx}{dt} = \frac{u - x}{\tau}$$

onde t é o tempo, e τ é uma constante (constante do tempo), que é independente do valor de x para a maioria dos instrumentos.

Características dos instrumentos (cont.)

- **Resposta dinâmica dos instrumentos (cont.)**

- Após integração e alguma álgebra, chegamos a

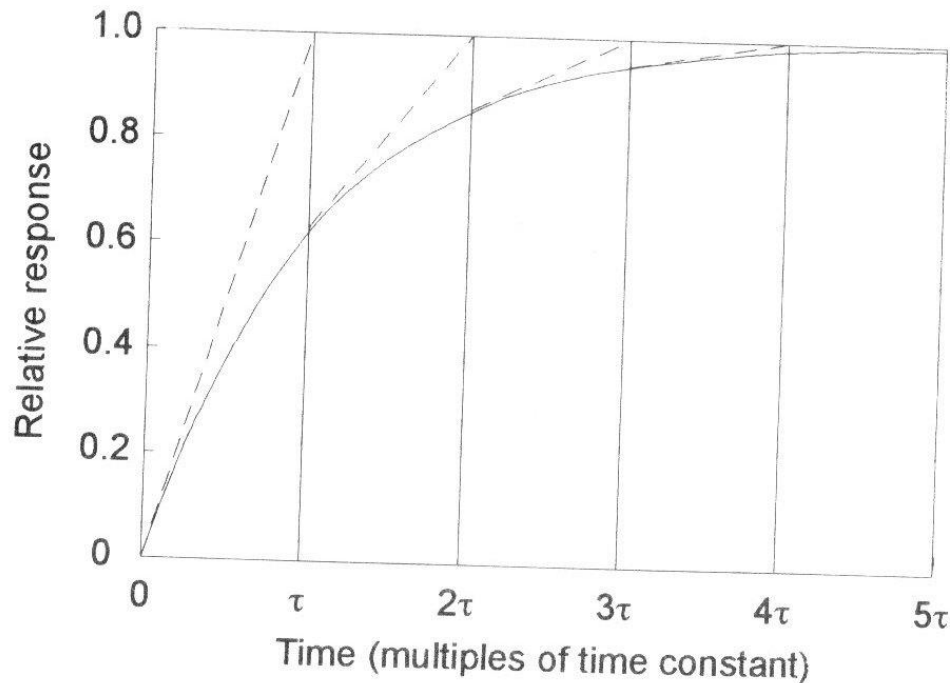
$$x = u_0 + (u_1 - u_0) (1 - e^{-t/\tau})$$

onde u_0 e u_1 são os valores inicial da grandeza e após a variação abrupta, respetivamente.

Esta equação mostra que a diferença entre a indicação do instrumento e o valor da grandeza decresce exponencialmente com o tempo. Quando $t = \tau$, 63% da diferença inicial entre a indicação do instrumento e o valor da grandeza após a variação brusca já foi desfeita.

Características dos instrumentos (cont.)

- **Resposta dinâmica dos instrumentos (cont.)**



Características dos instrumentos (cont.)

- **Resposta dinâmica dos instrumentos (cont.)**
 - O *tempo de resposta* dum instrumento é definido como o tempo necessário para a sua indicação igualar 95% da variação da grandeza considerada. Portanto, o tempo de resposta é igual a 3 vezes o valor da constante de tempo.
 - Problema:
 - Foi colocado um peso de 80 g numa balança cuja constante de tempo (τ) é 12 s. Calcule o valor indicado pela balança ao fim de quatro segundos.

Características dos instrumentos (cont.)

- **Resposta dinâmica dos instrumentos (cont.)**

- Resolução:

$$m = 80,0 \text{ g} ; \tau = 12,0 \text{ s} ; t = 4,00 \text{ s}$$

$$x = u_0 + (u_1 - u_0) (1 - e^{-t/\tau})$$

$$x = 0 + 80 (1 - e^{-4/12}) = 22,7 \text{ g}$$

Características dos instrumentos (cont.)

- **Problema** (Resposta dinâmica dos instrumentos)
 - 1) Um termómetro de resistência tem uma constante de tempo $\tau = 40$ s. Inicialmente o termómetro estava em equilíbrio térmico com o ar a 20°C e foi colocado num banho controlado por um termostato para 35°C . Quanto tempo é necessário para que o termómetro registre a temperatura do banho a menos de $0,1^\circ\text{C}$?
R: 200,4 s

Organização dum instrumento electrónico

- Um instrumento deste tipo consiste, geralmente, num sensor-transdutor, num conversor de sinal (condicionador de sinal), numa saída analógica ou digital, e num sistema de alimentação de energia.
- **Sensores e transdutores:** existem muitos tipos destes órgãos, como veremos mais tarde. O transdutor ideal geraria uma voltagem que variaria linearmente com a grandeza a medir; o sinal seria de cerca de 1 V de corrente directa (DC), válido para toda a escala, baixa impedância, sem necessidade de ligação à terra.

Organização dum instrumento electrónico (cont.)

- Condicionamento do sinal
 1. **Conversão do sinal do transdutor para voltagem.**

Geralmente passa-se duma intensidade de corrente para uma voltagem, utilizando uma resistência ($V=RI$). No caso do sinal ser uma resistência (e.g., termistores, termómetros de resistência de platina (PRT)) pode ser convertido para voltagem utilizando uma ponte ou uma fonte de corrente de intensidade constante.

Organização dum instrumento electrónico (cont.)

- Condicionamento do sinal (cont.)

2. *Multiplexing*

Um *multiplexer* é um sistema que interrompe/liga o sinal que vem de sucessivos sensores/transdutores e os liga aos estados seguintes de processamento de sinal. Hoje utilizam-se interruptores de estado sólido, porque são mais mais rápidos, mais fiáveis, mais baratos, consomem menos energia e são adequados para sinais muito pequenos (i.e., nanovolts ou picoampéres).

Organização dum instrumento electrónico (cont.)

- Condicionamento do sinal (cont.)

3. **Amplificação**

Um amplificador é um componente que produz uma saída que é um dado número de vezes maior do que o sinal recebido, sem provocar interferência neste sinal.

4. **Filtragem e transformação do sinal**

Depois do sinal do transdutor ser convertido em voltagem e amplificado tem, muitas vezes, de ser filtrado e transformado.

Organização dum instrumento electrónico (cont.)

- Condicionamento do sinal (cont.)

5. Conversão dos dados

A conversão digital-analógica (D/A) e analógica-digital (A/D) servem de pontes entre o mundo digital e analógico. Na maioria das aplicações agro-ambientais faz-se a conversão de sinais analógicos em sinais digitais de 12-16 bits.

Organização dum instrumento electrónico (cont.)

- Saídas do instrumento
 - Mostradores analógicos e digitais
 - Registadores analógicos e digitais

Organização dum instrumento electrónico (cont.)

- Fontes de alimentação
 - Alguns instrumentos não necessitam de serem alimentados (e.g., termopares).
 - A energia para os instrumentos de laboratório é, no laboratório, a AC 220-240 V (Europa) ou AC 120 V (nos EUA).
 - No campo a energia vem de geradores portáteis, pilhas (1,5; 3, 6, e 9 V) ou baterias (12 ou 24 V).

Iniciação dum instrumento

- Inspeção inicial
 - Ler manuais
 - Chocalhar ligeiramente
 - Ver seu interior (se não houver impedimento pelo fabricante), sem esquecer de antes desligar a fonte de alimentação.
 - Testar as pilhas/baterias
 - Ler voltagem nos bornes após período actividade
 - Ler com um amperímetro em série a intensidade de corrente utilizada e comparar com as especificações.

Iniciação dum instrumento (cont.)

- Testar o funcionamento
 - Sujeitar o instrumento a estímulo nulo
 - Passar para meio com grandeza constante
 - Além da temperatura:
 - Luz
 - Humidade
 - Vibração
 - EMI-RFI