

# Instrumenta o e Sensores

## Aula 01 - Introdu o

# Apresentação

---

Nesta primeira aula serão explicitados alguns conceitos básicos sobre controle de processo, apesar de não ser o foco da disciplina. No entanto, um bom entendimento acerca desses conceitos introdutórios possibilitará que o aluno visualize como os sensores e atuadores são empregados na automação dos processos industriais, facilitando de forma significativa a sua compreensão dos assuntos abordados nas aulas seguintes. Serão definidos os conceitos de sensor e atuador e de outros termos associados a esses instrumentos, abordando, assim, o assunto propriamente dito.

## Objetivos

- Entender sobre controle de processo;
- Listar, no mínimo, cinco variáveis que são comumente controladas em processos industriais;
- Definir os seguintes termos: variáveis de processo, medida e manipulada, sensor, atuador e transdutor;
- Dominar os conceitos dos parâmetros dos instrumentos de medição: sensibilidade, precisão, linearidade, range, span, resolução, exatidão, histerese e zona-morta.

# Conceitos básicos de instrumentação para automação

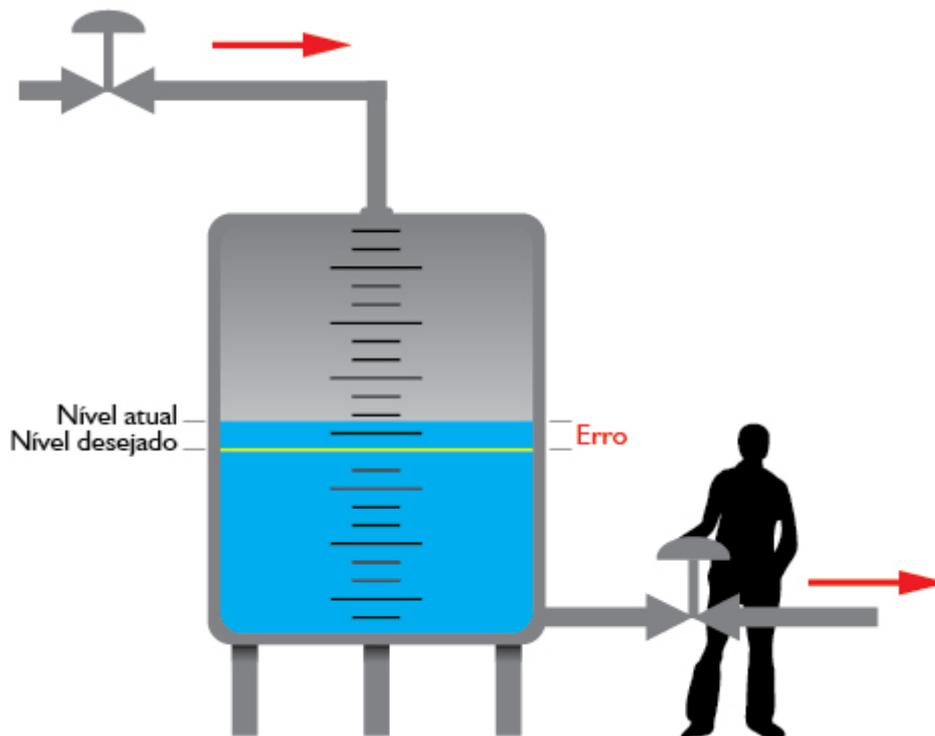
---

Em um processo industrial ocorre uma série de eventos para transformar um material em um produto final, através da variação de suas características físicas e/ou químicas que são condicionadas a determinados valores. Esses valores sofrem variações ao longo do tempo e a tarefa de manter as condições do processo dentro dos valores específicos para se atingir o objetivo desejado é chamada de **controle de processo**.

Originalmente, o controle de processo industrial foi feito por operadores de forma manual. Os **sensores** desses operadores eram os seus sentidos de visão, tato e som, tornando o processo totalmente dependente do operador. Portanto, para manter um processo dentro dos limites previamente estabelecidos, os operadores **atuavam** ajustando um simples dispositivo de controle.

Como exemplo de um controle realizado por um operador (controle manual), imagine um sistema de controle de nível de um tanque. O líquido entra pela parte superior do tanque e sai pela parte inferior (Figura 1). Para controlar a quantidade de líquido que escoar do tanque, vamos utilizar a válvula da parte inferior. Assim, como o nível de líquido no tanque depende da vazão de líquido que escoar por essa válvula, então, para manter o nível estável e sob controle, basta que a vazão de saída seja igual à vazão de entrada. Caso seja necessário outro valor de nível de líquido, o operador atua modificando a abertura da válvula de saída a fim de que esse novo valor de referência seja alcançado.

**Figura 01** - Controle manual do nível em um tanque



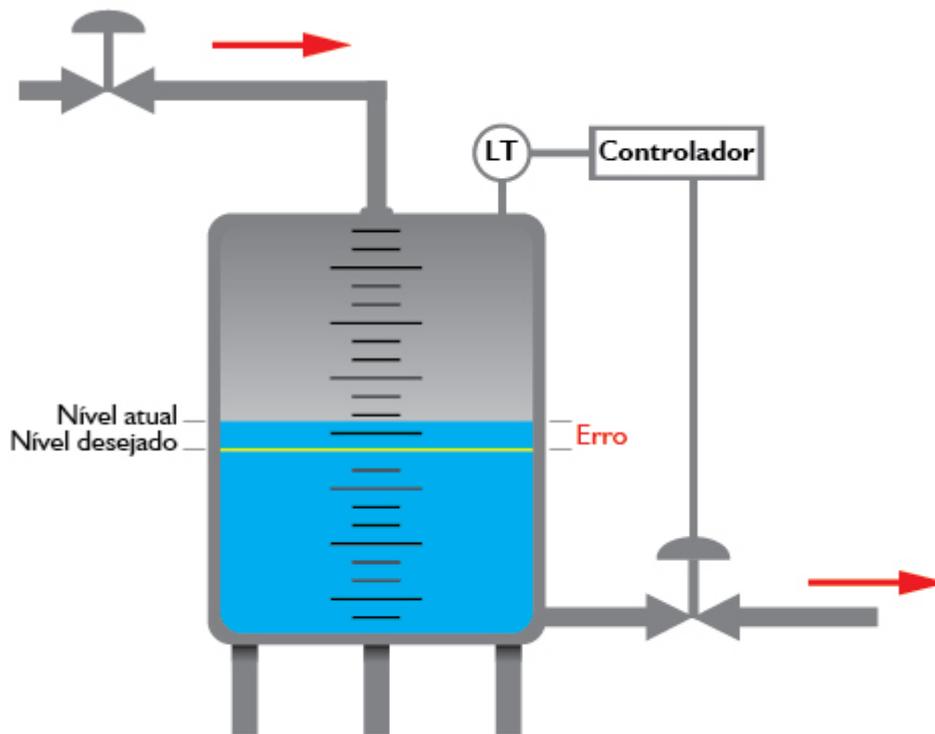
**Fonte:** Aatoria Própria.

Nesse caso, a variável de processo que se deseja controlar é o nível, entretanto a variável que se manipula para que seja possível manter o nível desejado é a vazão do líquido que escoar pela válvula.

Portanto, como se tratavam de processos simples, os operadores conseguiam controlar e manter constante variáveis como: pressão, vazão, temperatura, pH, condutividade, nível, umidade, velocidade etc. O controle era feito de forma manual, utilizando instrumentos simples, tais como termômetros, manômetros, válvulas manuais e etc.

Entretanto, ao longo dos anos, os processos foram se tornando cada vez mais complexos, e fatores como confiabilidade, produção elevada do sistema, ritmo acelerado de produção, informações mais precisas e consistentes, e diminuição do risco de acidente foram sendo exigidos. Essa demanda levou ao aumento da automação nos processos industriais através de uma evolução de instrumentos (Figura 2), onde estão incluídos os sensores e atuadores, e dos controladores. Dessa forma, a função de controle do operador foi substituída por sensores, atuadores e controladores, uma vez que estes atendem às exigências acima citadas.

**Figura 02** - Controle automático do nível em um tanque.



**Fonte:** Autoria Própria.

## Definições e conceitos

---

Antes de começar a falar de sensores e atuadores, é necessário que você aprenda a definir alguns termos comuns e pertinentes à área de controle de processos. Uma vez familiarizado com esses termos, será mais fácil de você compreender e assimilar o conhecimento a respeito dos sensores e atuadores, já que terá uma visão mais geral sobre a implantação e funcionamento desses instrumentos no controle de processo.

## Variáveis

---

**Variáveis de processo**, também denominadas variáveis controladas, são quaisquer quantidades, propriedades ou condições físicas associadas a fenômenos físicos e/ou químicos que ocorrem em um processo e indicam de maneira direta a

forma ou estado desejado do produto. No exemplo citado anteriormente (controle de nível do tanque), em que era necessário controlar a vazão de líquido que flui pela válvula inferior, a variável medida é a vazão e a variável do processo é o nível.

Outro exemplo seria a medição de vazão através de uma placa de orifício. Nesse caso, a variável medida seria a pressão diferencial (antes e depois do orifício) e a variável de processo seria a vazão.

Entretanto, há casos em que a variável medida é também a variável do processo. Por exemplo, considere um processo em que se deseja manter a temperatura do líquido de um tanque em 80°C. Se o valor indicado pelo sensor inserido no processo estiver abaixo do valor desejado, então um sinal é enviado para abrir a válvula de combustível do queimador, até que a temperatura chegue aos 80°C. Nesse caso, a variável medida e a de processo é a temperatura.

Outros exemplos de variáveis de processos são: pressão, vazão, temperatura, densidade, nível, Ph (acidez e alcalinidade), massa e condutividade.

Portanto, **variável medida** é a variável, a grandeza física, que é utilizada de forma intermediária (medição indireta) para realizar a medição da variável de processo, a qual se deseja manter fixa em um valor preestabelecido, isto é, em um determinado setpoint.

*Set point:* termo em inglês para ponto de ajuste designa o valor desejado do parâmetro de saída do processo ou de uma variável que é monitorada por um sensor.

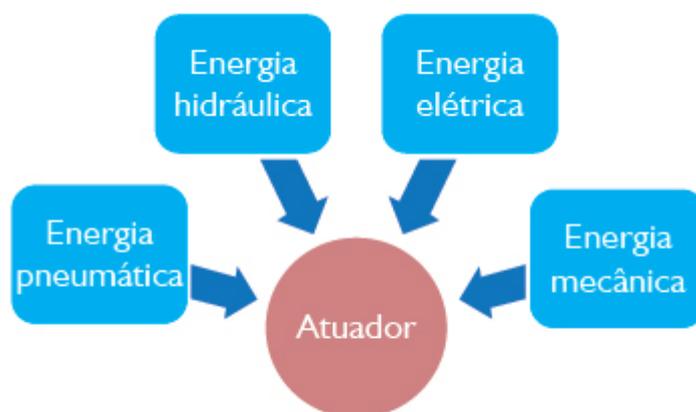
Por fim, vem a **variável manipulada**, que é aquela a qual tem o seu valor modificado com o objetivo de manter a variável de processo no setpoint. Ainda considerando o exemplo em que se deseja controlar o nível do tanque das Figuras 1 e 2, a variável manipulada coincide com a variável medida, ou seja, devemos modificar o valor da vazão com o intuito de manter o nível em um determinado patamar.

# Atuador

---

É um dispositivo mecânico controlável capaz de realizar um trabalho físico, como abertura ou fechamento de uma válvula em um processo de produção. Ele utiliza energia elétrica, pneumática, mecânica ou hidráulica de uma fonte externa, além de converter e transmitir essa energia em movimento mecânico necessário para modificar o comportamento da variável controlada. São exemplos de atuadores: válvulas pneumáticas e hidráulicas, relés estáticos e eletromecânicos, cilindros pneumáticos e hidráulicos, motores e solenoides.

**Figura 03** - Formas de energia que podem alimentar um atuador.



**Fonte:** Autoria Própria.

Os atuadores são também classificados pela forma do movimento mecânico, que é aplicado a partir da saída do atuador no sentido da entrada do equipamento a ser acionado. De acordo com o movimento os atuadores são classificados como: rotativos e lineares.

# Sensor

---

É o elemento primário de um sistema de medição que recebe a energia do meio, corpo ou substância e produz uma resposta representando a amplitude de uma variável física mensurada. Normalmente, essa resposta é representada por um sinal

analógico (tensão, corrente, movimento, resistência etc.) não padronizado, o que dificulta a indicação direta do valor da variável medida.

Assim, para que um sensor possa ser utilizado, por exemplo, em um sistema de controle de processo, o seu sinal de saída precisa ser condicionado, isto é, passado de uma forma não padronizada para uma padronizada (por exemplo, 4 a 20 mA ou 3 a 15 PSI) e, em seguida, amplificada. O sinal resultante dessa manipulação pode, então, ser enviado ao controlador e/ou a outros instrumentos.

Em relação à natureza da saída, existem basicamente dois tipos de sensores: os analógicos, que produzem uma saída contínua proporcional à variação de algum parâmetro da entrada; e os digitais, que geram uma saída do tipo liga/desliga (*on / off*). Os sensores que produzem saídas digitais do tipo trem de pulsos, por exemplo, são considerados sensores digitais.

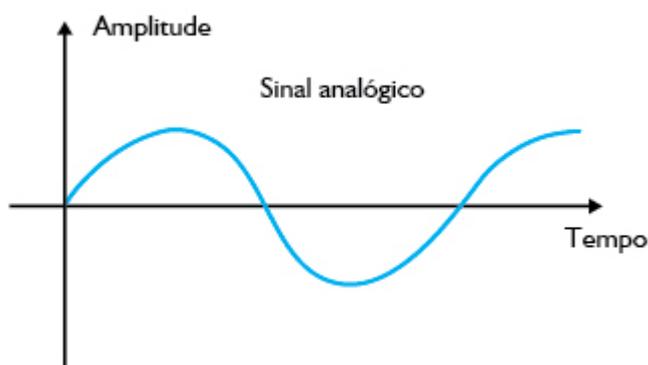
## Sensores analógicos

---

São os sensores que respondem através de sinais analógicos. Devido à sua natureza analógica, a saída desses sensores podem assumir infinitos valores ao longo do tempo, dentro de sua faixa de operação (**Figura 4**). Ou seja, considerando os seus limites inferior e superior de saída, para qualquer variação sentida pelo sensor existirá um sinal de saída equivalente. Portanto, os sinais de saída podem variar entre inúmeros valores dentro desses limites.

Variáveis como temperatura, pressão, vazão, umidade, força, velocidade, distância etc., são exemplos de variáveis que podem assumir qualquer valor ao longo do tempo.

**Figura 04** - Ilustração do sinal da saída de um sensor analógico.



**Fonte:** Autoria Própria.

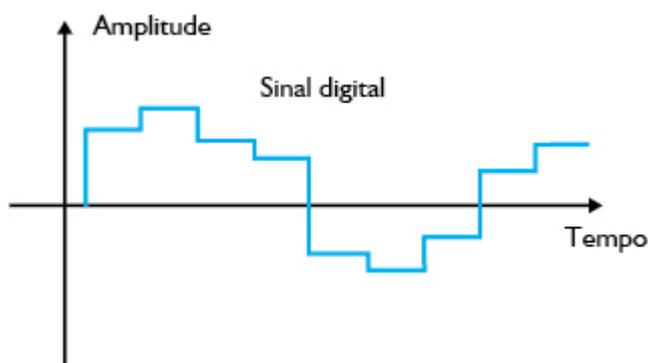
## Sensores Digitais

---

São sensores cujas amplitudes da saída são representadas por números binários. Isso significa que os níveis de tensão de saída podem ser interpretados como "0" ou "1", não havendo possibilidade de existir qualquer outro valor entre eles.

No entanto, as variáveis físicas "lidas" pelos sensores digitais se apresentam na natureza de forma analógica. Então, para que esses tipos de sensores apresentem na sua saída um formato digital, faz-se necessária a utilização de um circuito eletrônico que possa fazer essa conversão. Na maioria dos casos é utilizado um conversor analógico digital. A Figura 5 retrata um exemplo de saída de um desses conversores.

**Figura 05** - Ilustração do sinal da saída conversor analógico digital.



## Transdutor

---

É um dispositivo que pode transformar um sinal de uma grandeza física como pressão, vazão, nível (grandezas reconhecidas pelos dispositivos de controle) em um sinal elétrico correspondente (corrente ou tensão). Assim, pode-se considerar o transdutor como uma interface entre o elemento sensor e o sistema de controle.

Em certos casos, na instrumentação industrial, é muito comum o uso dos termos **sensor** e **transdutor** como tendo o mesmo significado. No entanto, o transdutor é um instrumento mais complexo, uma vez que inclui, em sua estrutura, o elemento sensor e circuitos eletrônicos necessários para disponibilizar o valor da variável física lida em um formato adequado para processamento.

De acordo com o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais em Metrologia - VIM, o **transdutor de medição** é um dispositivo que fornece uma grandeza de saída que tem uma correlação determinada com a grandeza de entrada. Como exemplos de transdutor, temos o termopar, transformador de corrente, extensômetro elétrico de corrente (*strain gauge*) etc. Já o **sensor** é definido como sendo um elemento de um instrumento de medição ou uma cadeia de medição que é diretamente afetada pelo mensurado. Por exemplo, a junta de medição de um termômetro termoelétrico, rotor de uma turbina para medir vazão, boia de um instrumento de medição de nível etc.

## Transmissor

---

Instrumento que tem a função de converter e amplificar o sinal produzido por um transdutor em um sinal apropriado para transmissão, capaz de ser enviado a longas distâncias, com nenhuma ou o mínimo de perda da informação para um instrumento receptor.

O sinal enviado pelo transdutor é linearmente modulado em uma faixa padronizada, representando o conjunto de valores entre os limites mínimo e máximo de uma variável de processo. A esse processo de adequação aos quais os

sinais estão sujeitos, dá-se o nome de "padrões de transmissão de sinais", e os sinais resultantes desse processo são chamados de "sinais de instrumentação padronizados".

Os padrões de transmissão mais comumente empregados são os pneumáticos, analógicos e digitais. As pressões de transmissão pneumáticas foram padronizadas em três faixas de valores: 3 a 15 PSI (20 a 100 kPa), 6 a 30 PSI (40 a 200 kPa) e 0,2 a 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>, sendo a primeira faixa a mais utilizada para esse tipo de transmissão.

A vantagem de se utilizar a transmissão pneumática está no fato da possibilidade de ser empregada com segurança em áreas onde existe risco de explosão. Já as desvantagens ao fazer uso dessa comunicação são: a necessidade de uma tubulação de ar comprimido (ou outro gás) para seu suprimento e funcionamento; necessidade de equipamentos auxiliares tais como compressor, filtro, desumidificador, para fornecer aos instrumentos ar seco, e sem partículas sólidas; atraso que ocorre na transmissão do sinal, que não pode ser enviado a longa distância (acima de 100 m), sem uso de reforçadores; vazamentos ao longo da linha de transmissão ou mesmo nos instrumentos são difíceis de serem detectados e, por fim, impossibilidade de conexão direta aos computadores.

## Transmissor - pt.2

---

Os padrões analógicos podem ser classificados em duas categorias: sinais de tensão e de corrente. Os sinais de tensão são normalmente padronizados para trabalhar com as seguintes faixas de tensão: 0 a 5V, 1 a 5V, 0 a 10V ou 0 a 12V, com 0 a 5V sendo a forma mais comum. Quanto aos sinais de corrente, estes foram padronizados para trabalharem em três faixas: 0 a 20 mA, 4 a 20 mA e 10 a 50 mA, com 4 a 20 mA sendo o padrão mais utilizado.

Apesar de existirem transmissores que utilizem sinais de transmissão começando com zero (0 a 20 mA, 0 a 5 V), é recomendável que os sinais de transmissão analógica normalmente comecem em um valor acima do zero, para se ter uma segurança em caso de rompimento do meio de comunicação.

As vantagens proporcionadas por esse tipo de transmissão são as seguintes: transmissão para longas distâncias sem perdas; possibilidade de comunicação pelos próprios fios que alimentam o sensor (comunicação 2 fios); não necessidade de equipamentos auxiliares, como nos pneumáticos; fácil comunicação com computadores e controladores; fácil instalação mecânica e elétrica; possibilidade de que o mesmo sinal, por exemplo, 4 a 20 mA, seja enviado a mais de um instrumento, ligando-os em série. Essa transmissão tem como desvantagens: uso de instrumentos e cuidados especiais em instalações localizadas em áreas de risco; fazer uma análise prévia na escolha do encaminhamento dos cabos ou fios de sinais; os cabos e fios de sinais devem ser protegidos contra ruídos elétricos.

Além das características já listadas, na transmissão de sinais na forma digital as informações sobre a variável medida são enviadas em forma de "pacotes" de sinais digitais modulados e padronizados. Entretanto, para que haja efetivamente uma comunicação entre o transmissor e receptor é utilizada uma "linguagem" padrão, chamada de protocolo de comunicação. Existem diversos protocolos utilizados para a interconexão de instrumentos nas redes industriais (fieldbus). Por exemplo: HART, Modbus, Foundation Fieldbus, Profibus PA, AS-I, DeviceNET etc.

Dentre as vantagens desse modo de transmissão, podemos listar as seguintes: os instrumentos não necessitam de ligação ponto a ponto; ele é imune a ruídos externos; permite configuração, diagnóstico de falha e ajuste em qualquer ponto da malha e menor custo final. Os principais problemas encontrados ao se trabalhar com essa tecnologia são: a existência de vários protocolos no mercado, dificultando a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes; o rompimento no cabo de comunicação, que leva a uma perda de informação e/ou controle de algumas malhas.

O termo transmissor também é utilizado para os dispositivos que integram um sensor, transdutor e transmissor no mesmo dispositivo.

# Parâmetros dos instrumentos de medição

---

Uma boa compreensão do comportamento do processo é crucial para a escolha do dispositivo de medição a ser empregado, pois permitirá ao projetista definir, de forma precisa, as características e parâmetros do dispositivo que mais se adequem à necessidade da aplicação. Alguns dos parâmetros mais comuns serão apresentados a seguir.

## Sensibilidade

Também conhecida como ganho, é uma medida da alteração na saída de um sensor/transdutor (ou resposta do instrumento), em decorrência de uma mudança na sua entrada, isto é, na variável mensurada. Assim, um sensor tem uma alta sensibilidade se, para uma pequena variação da variável medida, ele gerar uma variação considerável na sua saída.

## Faixa Nominal (*Range*)

Representa o conjunto de valores da grandeza medida, considerando-se toda a extensão da faixa de valores que um instrumento é capaz de medir. Ou seja, são as leituras mínimas e máximas que um instrumento pode medir. É expresso determinando os valores extremos.

## Amplitude da Faixa Nominal (*Span*)

É o módulo da diferença entre os limites do range de um instrumento. Em outras palavras, é a diferença entre os valores máximo e mínimo da faixa de medida de um instrumento. Por exemplo, um sensor de pressão que possui uma faixa de medida de 50 a 200 PSI, possui um *span* de 150 PSI.

# Atividade 01

---

1. Dado um transmissor de pressão com um range de medida de 150 a 500 Psi com um sinal de saída de 4 a 20 mA, calcule a pressão aplicada se a saída desse transmissor apresenta um sinal de 12,3 mA.

[Mostrar respostas](#)

## Resposta da Questão 2

Resp.: Inicialmente, calcula-se o valor de pressão por unidade de corrente ( $\frac{Psi}{mA}$ ). Para isso fazemos o seguinte:

$$500 - 150 = 350 \text{ psi}$$

$$20 - 4 = 16 \text{ mA}$$

$$\frac{350}{16} = 21,875 \frac{Psi}{mA}$$

De posse do coeficiente angular, calcula-se o deslocamento sobre o eixo:

$$150 = 21,875 \times 4 + D \rightarrow D = 62,5 \text{ Psi}$$

De posse da equação, basta substituir o valor de corrente desejado na equação para encontrar o valor da pressão correspondente:

$$P = 21,875 \times 12,3 + 62,5$$

$$P = 331,5625 \text{ Psi}$$

# Precisão

---

É um parâmetro que está relacionado com a capacidade do instrumento fornecer na saída valores idênticos ou muito próximos para diversos ensaios realizados sob as mesmas condições. Pode ser descrita de três maneiras: percentual do Span (% do Span), percentual do Fundo de Escala (% do F.E.) e percentual do Valor Lido (% do V.L.).

Como exemplo, considere que um sensor de pressão que tem uma faixa de 20 a 200 PSI. Especifique o valor de erro ao medir 150 PSI, se a precisão do indicador é:

1.  $\pm 2\%$  do *span*
2.  $\pm 1,5\%$  do fundo de escala
3.  $\pm 1,7\%$  da leitura

*Resolução:*

1. erro =  $\pm 0,02 \times (200 - 20) = \pm 3,6$  PSI
2. erro =  $\pm 0,015 \times 200 = \pm 3$  PSI
3. erro =  $\pm 0,017 \times 150 = \pm 2,55$  PSI

# Exatidão

---

É definida como sendo o erro ou a diferença entre o resultado de uma medição feita por um instrumento e um valor verdadeiro mensurado, isto é, um valor padrão conhecido. A exatidão pode ser as seguintes formas de representações: percentual do *Span* (% do *Span*), *percentual do Fundo de Escala* (% do *F.E.*) e *percentual do Valor Lido* (% do *V.L.*).

Por exemplo, considere que um transmissor de temperatura com um range de 50 a 450°C está indicando 125°C. Calcule o intervalo possível do valor real para as condições de:

1. 1% do valor do span
2. 1% do fundo de escala
3. 1% do valor lido (instantâneo)

*Resolução:*

1. Valor real =  $125^{\circ}\text{C} \pm(0,01.400) = 125^{\circ}\text{C} \pm 4,0^{\circ}\text{C}$
2. Valor real =  $125^{\circ}\text{C} \pm(0,01.450) = 125^{\circ}\text{C} \pm 4,5^{\circ}\text{C}$
3. Valor real =  $125^{\circ}\text{C} \pm(0,01.125) = 125^{\circ}\text{C} \pm 1,25^{\circ}\text{C}$

## Atividade 02

---

1. Calcule o intervalo de medição que um sensor de temperatura pode indicar, quando a temperatura real medida pelo mesmo é  $35^{\circ}\text{C}$ , sabendo-se que a escala de medição é de  $-30$  a  $+90^{\circ}\text{C}$  para os casos de uma exatidão é de 1% do valor do span, 2% do fundo de escala e 0,5% do valor lido.

[Mostrar respostas](#)

Resp.: Calculando os valores temos:

Span:  $90 - (-30) = 120^{\circ}\text{C}$

1. Valor lido =  $35^{\circ}\text{C} \pm(0,01 \times 120) = 35^{\circ}\text{C} \pm 1,2^{\circ}\text{C}$
2. Valor lido =  $35^{\circ}\text{C} \pm(0,02 \times 90) = 35^{\circ}\text{C} \pm 1,8^{\circ}\text{C}$
3. Valor lido =  $35^{\circ}\text{C} \pm(0,005 \times 35) = 35^{\circ}\text{C} \pm 0,175^{\circ}\text{C}$

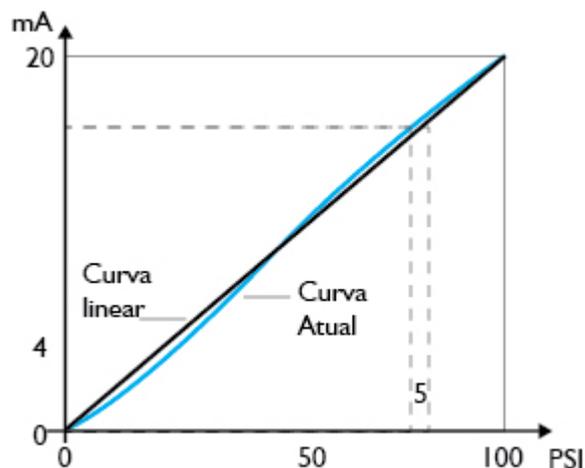
# Linearidade

---

É representada por uma curva que indica o desvio ou a proximidade entre o comportamento da saída do instrumento e o valor real, isto é, valor padrão da variável a ser medida. Caso o instrumento a ser testado apresente, na saída, resultados que formem uma linha reta, ele é dito linear e a sua curva se sobrepõe, ou seja, coincide com a curva obtida a partir dos valores padrões para aquela variável.

A Figura 6 mostra a curva de linearidade para um sensor de pressão, cuja saída corresponde à variação real da pressão. Nele, a resposta do sensor é comparada ao que seria uma resposta linear. O desvio para a curva ideal é de 5 PSI, o que dá uma linearidade de  $\pm 5\%$  da leitura do fundo de escala.

**Figura 06** - Exemplo de curva de linearidade para um sensor.



**Fonte:** Autoria Própria

# Resolução

---

É definida como o menor incremento no sinal de entrada que pode ser detectado pelo instrumento. Em outras palavras, é o grau de "finura" com que a medição pode ser feita. Portanto, a contagem mínima de qualquer instrumento é

tomada como a resolução desse instrumento. Instrumentos digitais são bons exemplos para explicitar a resolução, pois a resolução desses instrumentos é justamente o bit menos significativo.

Por exemplo, um medidor digital tem uma precisão de 12 bits. Isto é, seu valor pode ser representado digitalmente por até 12 bits. Com base nisso, qual seria a resolução desse sensor, considerando uma faixa de 5V?

*Resolução:*

$$12 \text{ bits} = 2^{12} = 4096$$

Como dito na questão, essa faixa de tensão pode ser representada por 12 bits, o que nos dá um valor de 0 a 4095.

Resolução:

$$\frac{5v}{4096} = 0,001220703125V \text{ ou } 1,22mV$$

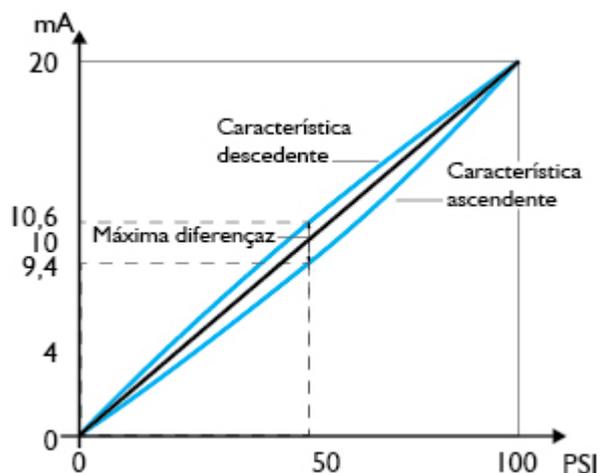
## Histerese

---

É definida como sendo a magnitude do erro causado na saída para um mesmo valor de entrada, quando esse valor é abordado a partir de direções opostas, ou seja, quando a variável percorre toda a escala no sentido ascendente e depois descendente. O seu valor é expresso em porcentagem do *span*.

Na Figura 7, a diferença entre 10,6 mA e 9,4 mA representa o erro de histerese, o que equivale a 6% do *span*.

**Figura 07** - Curva característica do erro de histerese.



**Fonte:** Autoria Própria

## Zona morta

É a máxima variação dos valores de uma variável medida do processo que não provoca variação alguma na indicação ou sinal de saída de um instrumento, isto é, o instrumento não responde a essa variação.

Por exemplo, um instrumento com uma faixa de medida entre 20 e 250 Psi possui uma zona morta de  $\pm 0,1\%$  do span, ou seja,  $\pm 0,23$  Psi. Assim, para variações abaixo desse valor, o instrumento não responderá indicando essa alteração.

# Leitura Complementar

---

Livro eletrônico “Instrumentation & control – Process Control Fundamentals” disponível para *download* em <<http://www.pacontrol.com/download/Process%20Control%20Fundamentals.pdf>>.

Leitura da página 1 a 18.

Resumo: a leitura das páginas sugeridas na página explana basicamente o que foi visto nesta aula. Ele dá uma explanação breve sobre a importância do controle de processo e a teoria geral do controle, definindo alguns termos pertinentes a essa área, como definição de sensores, atuadores e transmissores, assim como outras terminologias vistas nesta aula.

Blog “Controle e Automação” <<https://sites.google.com/site/automacao0/disciplinas/instr2009/fi>>.

Leitura do tópico 1.1, “Fundamentos da instrumentação”.

Resumo: blog com excelente material, partindo desde a apresentação das aulas (slides) até a resolução dos exercícios (slides). Tudo isso disponível para *download*.

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v 1. p. 6-24.

Resumo: apresenta, de forma detalhada, conceitos sobre instrumentação, passando pelas grandezas físicas, unidades de medidas e definindo e conceituando sensores, transdutores e instrumentos de medição.

# Resumo

---

Esta aula introduziu os conceitos de controle de processo e a diferença entre controle manual e automático de um processo. Também vimos a necessidade de se utilizar instrumentos de medida e atuadores para controlar processos. Além disso, conhecemos os conceitos de atuador, sensor, transdutor e transmissor e foram apresentados os tipos de sensores com relação à natureza do sinal de saída, as características desses sensores e os métodos de transmissão de dados utilizados.

## Autoavaliação

---

1. Defina:

- a. O que é sensor:
- b. O que é transmissor:
- c. O que é transdutor:
- d. O que é atuador:

[Mostrar resposta](#)

- a. É o elemento primário de um sistema de medição que recebe a energia do meio, corpo ou substância e produz uma resposta representando a amplitude de uma variável física mensurada.
- b. É o Instrumento que tem a função de converter e amplificar o sinal produzido por um transdutor em um sinal apropriado para transmissão, capaz de ser enviado a longas distâncias, com nenhuma ou o mínimo de perda da informação para um instrumento receptor.
- c. É um dispositivo que pode transformar um sinal de uma grandeza física como pressão, vazão, nível (grandezas reconhecidas pelos dispositivos de controle) em um sinal elétrico correspondente (corrente ou tensão). Assim, pode-se considerar o transdutor como uma interface entre o elemento sensor e o sistema de controle.
- d. É um dispositivo mecânico controlável capaz de realizar um trabalho físico, como abertura ou fechamento de uma válvula em um processo de produção. Ele utiliza energia elétrica, pneumática, mecânica ou hidráulica de uma fonte externa, além de converter e transmitir essa energia em movimento mecânico necessário para modificar o comportamento da variável controlada.

2. Quais os objetivos dos instrumentos de medição e controle?

[Mostrar resposta](#)

Ao longo dos anos, os processos industriais foram se tornando cada vez mais complexos, e fatores como confiabilidade, produção elevada do sistema, ritmo acelerado de produção, informações mais precisas e consistentes, e diminuição do risco de acidente foram sendo exigidos. Essa demanda levou ao aumento da automação nos processos industriais através de uma evolução de instrumentos, onde estão incluídos os sensores e atuadores, e dos controladores. Dessa forma, os sensores e atuadores vieram para substituir os sentidos e os músculos dos operadores de forma a atender as exigências do mercado.

3. Relacione a primeira coluna de acordo com a segunda:

a. Sensibilidade	( ) É um parâmetro que está relacionado com a capacidade do instrumento fornecer na saída valores idênticos ou muito próximos para diversos ensaios realizados sob as mesmas condições.
b. Zona morta	( ) Representa o conjunto de valores da grandeza medida, considerando-se toda a extensão da faixa de valores que um instrumento é capaz de medir.
c. Amplitude da Faixa Nominal ( <i>Span</i> )	( ) É definida como sendo a magnitude do erro causado na saída para um mesmo valor de entrada, quando esse valor é abordado a partir de direções opostas.
d. Exatidão	( ) É o módulo da diferença entre os limites do <i>range</i> de um instrumento. Em outras palavras, é a diferença entre os valores máximo e mínimo da faixa de medida de um instrumento.

---

e. Resolução	( ) É definida como sendo o erro ou a diferença entre o resultado de uma medição feita por um instrumento e um valor verdadeiro mensurado, isto é, um valor padrão conhecido.
f. Precisão	( ) Também conhecida como ganho, é uma medida da alteração na saída de um sensor/transdutor (ou resposta do instrumento), em decorrência de uma mudança na sua entrada.
g. Linearidade	( ) É a máxima variação dos valores de uma variável medida do processo que não provoca variação alguma na indicação ou sinal de saída de um instrumento.
h. Histerese	( ) É representada por uma curva que indica o desvio ou a proximidade entre o comportamento da saída do instrumento e o valor real, isto é, valor padrão da variável a ser medida.
i. Faixa Nominal ( <i>Range</i> )	( ) É definida como o menor incremento no sinal de entrada que pode ser detectado pelo instrumento.

---

[Mostrar resposta](#)

1. f

2. i

3. h

4. c

5. d

6. a

7. b

8. g

9. e

4. No tocante aos sinais de transmissão de sinais, cite as vantagens e desvantagens de se trabalhar com:

- a. Pneumático
- b. Analógico (tensão ou corrente)
- c. Digital

[Mostrar resposta](#)

- a. A vantagem de se utilizar a transmissão pneumática está no fato da possibilidade de ser empregada com segurança em áreas onde existe risco de explosão. Já as desvantagens ao fazer uso dessa comunicação são: a necessidade de uma tubulação de ar comprimido (ou outro gás) para seu suprimento e funcionamento; necessidade de equipamentos auxiliares tais como compressor, filtro, desumidificador, para fornecer aos instrumentos ar seco, e sem partículas sólidas; atraso que ocorre na transmissão do sinal, que não pode ser enviado a longa distância (acima de 100 m), sem uso de reforçadores; vazamentos ao longo da linha de transmissão ou mesmo nos instrumentos são difíceis de serem detectados e, por fim, impossibilidade de conexão direta aos computadores.
- b. As vantagens proporcionadas por esse tipo de transmissão são as seguintes: transmissão para longas distâncias sem perdas; possibilidade de comunicação pelos próprios fios que alimentam o sensor (comunicação 2 fios); não necessidade de equipamentos auxiliares, como nos pneumáticos; fácil comunicação com computadores e controladores; fácil instalação mecânica e elétrica; possibilidade de que o mesmo sinal, por exemplo, 4 a 20 mA, seja enviado a mais de um instrumento, ligando-os em série. Essa transmissão tem como desvantagens: uso de instrumentos e cuidados especiais em instalações localizadas em áreas de risco; fazer uma análise prévia na escolha do encaminhamento dos cabos ou fios de sinais; os cabos e fios de sinais devem ser protegidos contra ruídos elétricos.
- c. Dentre as vantagens desse modo de transmissão, podemos listar as seguintes: os instrumentos não necessitam de ligação ponto a ponto; ele é imune a ruídos externos; permite configuração, diagnóstico de falha e ajuste em qualquer ponto da malha e menor custo final. Os principais problemas encontrados ao se trabalhar com essa tecnologia são: a existência de vários protocolos no mercado, dificultando a comunicação entre equipamentos de diferentes fabricantes; o rompimento no cabo de comunicação, que leva a uma perda de informação e/ou controle de algumas malhas.

5. Calcule a faixa de medição que um sensor de pressão pode indicar, quando a pressão real medida pelo mesmo é 63 PSI, sabendo que a escala de medição é de 20 a 250 PSI e sua exatidão é de  $\pm 0,65\%$  do alcance.

[Mostrar resposta](#)

Valor medido:

$$= 63 \pm (0,0065 \times (250 - 20))$$

$$= 63 \pm (0,0065 \times 230)$$

$$= 63 \pm 1,495 \text{ Psi}$$

Logo:

A faixa varia de 61,505°C a 64,495°C

6. Assinale a alternativa correta:

a. \_\_\_\_\_ é aquela que tem o seu valor modificado com o objetivo de manter a variável controlada no *set point*.

**i) Variável de processo ii) variável medida iii) variável manipulada**

b. \_\_\_\_\_ é a variável, a grandeza física, que é utilizada de forma intermediária (medição indireta) para realizar a medição da variável de processo, a qual deseja-se manter fixa em um valor preestabelecido, isto é, em um determinado *set point*.

**i) Variável de processo ii) variável medida iii) variável manipulada**

c. \_\_\_\_\_ também denominadas variáveis controladas, são quaisquer quantidades, propriedades ou condições físicas associadas a fenômenos físicos e/ou químicos que ocorrem em um processo e indicam de maneira direta a forma ou estado desejado do produto.

**i) Variável de processo   ii) variável medida   iii) variável manipulada**

[Mostrar resposta](#)

- a. iii) variável manipulada
- b. ii) variável medida
- c. i) variável de processo

7. Calcule:

- a. 80% de 3 – 15 PSI
- b. 25% de 4 – 20 mA
- c. 20% de 0,2 – 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>
- d. 14,5 PSI equivale a quantos % de 3 – 15 PSI
- e. 12,3 mA equivale a quantos % de 4 – 20 mA
- f. 0,85 kgf/cm<sup>2</sup> equivale a quantos % de 0,2 – 1,0 kgf/cm<sup>2</sup>

[Mostrar resposta](#)

a. Calculando a inclinação da reta:

$$\frac{15 - 3}{1 - 0} = 12 \text{ Psi}$$

Calculando o deslocamento:

$$3 = 12 \times 0 + D \rightarrow D = 3$$

Calculando o valor de 80%

$$P = 12 \times 0,8 + 3 \rightarrow P = 12,6 \text{ Psi}$$

b. Calculando a inclinação da reta:

$$\frac{20 - 4}{1 - 0} = 16 \text{ mA}$$

Calculando o deslocamento:

$$4 = 12 \times 0 + D \rightarrow D = 4$$

Calculando o valor de 25%

$$P = 16 \times 0,25 + 4 \rightarrow P = 8 \text{ mA}$$

c. Calculando a inclinação da reta:

$$\frac{1 - 0,2}{1 - 0} = 0,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Calculando o deslocamento:

$$0,2 = 0,8 \times 0 + D \rightarrow D = 0,2$$

Calculando o valor de 20%

$$P = 0,8 \times 0,2 \rightarrow P = 0,36 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

d. Calculando a inclinação da reta:

$$\frac{15 - 3}{1 - 0} = 12 \text{ Psi}$$

Calculando o deslocamento:

$$3 = 12 \times 0 + D \rightarrow D = 3$$

Calculando o valor de % para 14,5 Psi

$$14,5 = 12 \times Y + 3 \rightarrow Y = 95,833333\%$$

e. Calculando a inclinação da reta

$$\frac{20 - 4}{1 - 0} = 16 \text{ mA}$$

Calculando o deslocamento

$$4 = 12 \times 0 + D \rightarrow D = 4$$

Calculando o valor de % para 12,3 mA

$$12,3 = 16 \times Y + 4 \rightarrow Y = 51,875\%$$

f. Calculando a inclinação da reta

$$\frac{1 - 0,2}{1 - 0} = 0,8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Calculando o deslocamento

$$0,2 = 0,8 \times 0 + D \rightarrow D = 0,2$$

Calculando o valor de % para 0,85 kgf/cm<sup>2</sup>

$$0,85 = 0,8 \times Y + 0,2 \rightarrow Y = 81,25\%$$

## Referências

---

BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas**. [s.l.]: [s.n.], [20-?]. p. 6-24. v 1.

CONTROLE e Automação: blog. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/automacao0/disciplinas/instr2009/fi>>. Acesso em: 25 nov. 2012.

DUNN, W. C. **Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control**. [s.l.]: Ed. Artech House, 2006. p. 1-14.

PESSA, R. **Instrumentação Básica para Controle de Processo**: Manual de Treinamento SMAR, Rev. 2.10. 2004. p. 1.2-1.4.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais**: fundamentos e aplicações. 5. ed. São Paulo: Ed. Érica, 2005. p. 17-23.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Controle de Processo, 8ª edição**, Tek Treinamento e consultoria, Salvador, Bahia, 2005.