



**e-Tec Brasil**  
*Escola Técnica Aberta do Brasil*

# Instrumentação Básica

*Sérgio Adalberto Pavani*



**Santa Maria - RS**  
**2011**

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este Material Didático foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

**Comissão de Acompanhamento e Validação**  
Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC

**Coordenação Institucional**  
Araci Hack Catapan/UFSC

**Coordenação do Projeto**  
Sílvia Modesto Nassar/UFSC

**Coordenação de Design Instrucional**  
Beatriz Helena Dal Molin/UNIOESTE

**Designers Intrucionais**  
Helena Maria Maullmann/UFSC  
Jorge Luiz Silva Hermenegildo/CEFET-SC

**WEB Designers**  
Beatriz Helena Dal Molin/UNIOESTE  
Mércia Freire Rocha Cordeiro Machado/ETUFPR

**Supervisão de Projeto Gráfico**  
Ana Carine García Montero/UFSC

**Diagramação**  
João Ricardo Zattar/UFSC  
Luís Henrique Lindler/UFSC

**Revisão**  
Lúcia Locatelli Flôres/UFSC

**Equipe de Elaboração**  
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

**Coordenador Institucional**  
Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Professor-autor**  
Sérgio Adalberto Pavani/CTISM

**Coordenação Técnica**  
Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

**Coordenação de Design**  
Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**  
Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM  
Francine Netto Martins Tadielo/CTISM  
Marcia Migliore Freo/CTISM

**Revisão Textual**  
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM  
Vera da Silva Oliveira/CTISM

**Revisão Técnica**  
Alex Martins/CTISM  
Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM  
Luciano Retzlaff/CTISM

**Diagramação e Ilustração**  
Gustavo Schwendler/CTISM  
Leandro Felipe Aguiar Freitas/CTISM  
Marcel Santos Jacques/CTISM  
Máuren Fernandes Massia/CTISM  
Rafael Cavalli Viapiana/CTISM  
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt – CRB 10/737  
Biblioteca Central – UFSM

**P337I Pavani, Sérgio Adalberto**  
**Instrumentação Básica / Sérgio Pavani. – 3. ed. – Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, Curso Técnico em Automação Industrial, 2009. 98 P. : Il. ; 21 cm.**

**1. Processos Industriais 2. Metrologia 3. Instrumentação Industrial 4. Sistemas de Medição 5. Programa Escola Aberta do Brasil I. Universidade Federal de Santa Maria. Curso Técnico em Automação Industrial.**

CDU 62-5

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Janeiro de 2010

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Apresentação da disciplina</b> .....	<b>11</b>
<b>Projeto instrucional</b> .....	<b>13</b>
<b>Aula 1 – Processos</b> .....	<b>15</b>
1.1 Tipos de processos.....	15
1.2 Instrumentação industrial.....	16
<b>Aula 2 – Metrologia</b> .....	<b>23</b>
2.1 Conceitos fundamentais.....	23
<b>Aula 3 – Unidades legais de medida</b> .....	<b>31</b>
3.1 Introdução às unidades de medidas.....	31
3.2 Unidades do Sistema Internacional múltiplos e submúltiplos das unidades.....	32
3.3 Unidades de base.....	36
3.4 Unidades derivadas.....	37
3.5 Unidades suplementares.....	37
3.6 Por que medidas confiáveis?.....	37
<b>Aula 4 – Características dos sistemas de medição</b> .....	<b>39</b>
4.1 Padrões da calibração.....	39
4.2 Faixa nominal ( <i>Nominal Range</i> ).....	40
4.3 Faixa de medição ( <i>Measuring Range</i> ).....	42
4.4 Escala de um instrumento de medição ( <i>Scale of a Measuring Instrument</i> ).....	42
4.5 Índice ( <i>Index</i> ).....	43
4.6 Resolução de um dispositivo mostrador ( <i>Resolution of a Displaying Device</i> ).....	43
<b>Aula 5 – Processos de medição</b> .....	<b>45</b>
5.1 Erro de medição ( <i>Error of Measurement</i> ).....	45
5.2 Valor de uma grandeza ( <i>Value of a Quality</i> ).....	45

5.3 Erro sistemático ( <i>Systematic Error</i> ).....	46
5.4 Correção ( <i>Correction</i> ).....	47
5.5 Repetitividade de resultados de medições ( <i>Repeatability of Results of Measurement</i> ).....	47
5.6 Calibração ou aferição ( <i>Calibration</i> ).....	47
5.7 Sensibilidade ( <i>Sensitivity</i> ).....	48
5.8 Histerese ou histeresis (h).....	48
5.9 Exatidão de medição ( <i>Accuracy of Measurement</i> ).....	48
5.10 Exatidão de um instrumento de medição ( <i>Accuracy of a Measuring Instrument</i> ).....	49
5.11 Classe de exatidão ( <i>Accuracy Class</i> ).....	49
5.12 Ajuste de um instrumento de medição ( <i>Adjustment of a Measuring Instrument</i> ).....	49
5.13 Repetitividade ( <i>Repeatability</i> ) .....	49
<b>Aula 6 – Classes dos instrumentos.....</b>	<b>51</b>
6.1 Classificações dos instrumentos.....	51
6.2 Identificação e símbolos de instrumentos.....	55
<b>Aula 7 – Sistemas de controle.....</b>	<b>63</b>
7.1 Controladores.....	63
7.2 Instrumentação de controle de processos.....	67
7.3 Válvulas de controle.....	70
7.4 Tipos de válvulas de controle.....	70
<b>Aula 8 – Válvulas de controle.....</b>	<b>77</b>
8.1 Aplicação de válvulas de controle.....	77
8.2 Características da válvula.....	78
8.3 Seleção, dimensionamento e especificação de válvulas de controle – exemplos práticos.....	79
8.4 Dimensionamento da válvula de controle.....	81
8.5 Instalação da válvula de controle.....	84
<b>Referências.....</b>	<b>91</b>
<b>Currículo do professor-autor.....</b>	<b>90</b>

## Palavra do professor-autor

Vivemos em um mundo cada vez mais automatizado, ou seja, cada vez mais delegamos as tarefas de controle a sistemas automáticos. Estes sistemas têm a capacidade de tomar decisões considerando informações captadas do ambiente, como, por exemplo, uma lâmpada que se liga automaticamente ao detectar a redução da luz ao final do dia. Em todos esses sistemas temos elementos que recolhem as informações, realizam sua análise e após geram um comando para influenciar no processo, gerando uma ação. Percebemos então que é de grande importância entender o funcionamento, as características e limitações destes elementos, e é isto que começaremos a estudar nesta disciplina.

Neste ponto é esperada uma importante mudança do sentido da percepção dos processos do dia-a-dia, em que você, caro estudante, passará a ver o cotidiano não mais como coisas que acontecem aleatoriamente, mas sim como processos de produção e transformação que estão envolvidos em diversos controles, sistemas de energia, matérias-primas e complementos.

Bons estudos.



# Apresentação da disciplina

A disciplina Instrumentação Básica é um dos pilares do processo de automação. Através dela, teremos uma idéia inicial da importância e abrangência da automação de processos. Esta poderá ir de sistemas simples (controle de um forno de assar pães, que possui dois elementos de controle – tempo e temperatura) até os de alta complexidade (o controle de uma petroquímica – que pode atingir milhares de elementos de controle com inúmeras variáveis).

Apresentaremos o que são processos, seus tipos, o que é instrumentação, os tipos de instrumentos, os conceitos fundamentais de metrologia e válvulas de controle.

Como toda disciplina introdutória, não serão esgotados aqui os assuntos iniciados, proporcionando aos estudantes a retomada e complementação dos assuntos abordados através de atividades e sugestões de estudo no ambiente virtual de ensino-aprendizagem do curso. Uma das mais importantes fontes de consulta será o sítio eletrônico do Inmetro, que através dos conceitos completos de Metrologia Legal e outros, dará sustentação à disciplina.



# Projeto instrucional

**Disciplina:** Instrumentação Básica (carga horária: 90h).

**Ementa:** Processos, metrologia, unidades legais de medida, características dos sistemas de medição, classes dos instrumentos e válvulas de controle.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Processos	Reconhecer, a importância da pesquisa científica para a evolução tecnológica, especialmente relacionada à instrumentação. Compreender as relações entre instrumentos, controladores e sua relação com processos singelos e complexos. Empregar a nomenclatura técnica no estudo e na interpretação da instrumentação.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.	10
2. Metrologia	Estabelecer as diferenças entre metrologia e instrumentação para desenvolver a base da automação. Compreender como ocorre a medição de grandezas. Despertar nos alunos o interesse pelas diferenças sutis dos sistemas de medição. Desenvolver ações de conscientização, orientação e pesquisa voltadas aos sistemas de medição. Relacionar os termos técnicos em português e inglês.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.	10
3. Unidades legais de medida	Proporcionar ao aluno a possibilidade de estabelecer as relações entre as grandezas e suas unidades. Despertar para a importância das grandezas e sua correta expressão. Desenvolver a percepção das relações entre as grandezas diversas.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.	10
4. Características dos sistemas de medição	Definir os parâmetros de um instrumento, para compreender os sistemas de erros. Apresentar os elementos necessários para a compreensão dos instrumentos. Identificar as características dos sistemas de medição.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila..	10

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
5. Processos de medição	<p>Conhecer os conceitos relativos ao processo de medição.</p> <p>Determinar as características metrológicas dos instrumentos e suas relações com os processos de medição.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i>.</p> <p>Apostila didática.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.</p>	10
6. Classes dos instrumentos	<p>Conhecer as diversas apresentações de instrumentos.</p> <p>Compreender as técnicas de seleção de instrumentos, quanto à sua apresentação (aspectos externos).</p> <p>Identificar os instrumentos de medição através de codificação normalizada e sua descrição.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i>.</p> <p>Apostila didática.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.</p>	10
7. Sistemas de controle	<p>Conhecer válvulas de controle e as suas aplicações.</p> <p>Compreender a importância das válvulas de controle em uma unidade de processamento industrial.</p> <p>Identificar aplicações das válvulas de controle em circuitos de processamento industrial.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i>.</p> <p>Apostila didática.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.</p>	15
8. Válvulas de controle	<p>Caracterizar as válvulas de controle e seus fundamentos de seleção.</p> <p>Compreender a importância da correta especificação de variáveis para o dimensionamento das válvulas de controle.</p> <p>Identificar as limitações para a instalação correta de uma válvula de controle.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i>.</p> <p>Apostila didática.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i> de leitura complementar indicados na apostila.</p>	15

# Aula 1 – Processos

## Objetivos

Reconhecer, a importância da pesquisa científica para a evolução tecnológica, especialmente relacionada à instrumentação.

Compreender as relações entre instrumentos, controladores e sua relação com processos singelos e complexos.

Empregar a nomenclatura técnica no estudo e na interpretação da instrumentação.

## 1.1 Tipos de processos

Os processos podem ser realizados de diversas maneiras:

- a) Gerando produtos continuamente, passando por diversos equipamentos, denominado processo contínuo.
- b) Gerando um produto que pode ser inteiramente elaborado em uma única máquina, denominado processo por bateladas.

### 1.1.1 Processo contínuo

Opera em altos volumes e baixa variedade de produtos. Seus produtos são indivisíveis e produzidos em fluxo ininterrupto. São relacionados a altos investimentos (capital intensivo), com fluxo altamente previsível e tecnologia inflexível.

#### Exemplo

Refinaria de petróleo, processos petroquímicos, fabricação de papel em altos volumes, geração de energia nuclear e geração de energia hidroelétrica.

### 1.1.2 Processo descontínuo (bateladas)

A operação tem períodos em que é repetida, enquanto se produz um lote. É associada à maior variedade de produtos e menor volume.



Geração de energia nuclear, ver processo no *site*:  
<http://www.eletronuclear.gov.br/tecnologia/index.php?idSecao=2&idCategoria=19>

Para refinaria de petróleo, veja:  
[http://www.refap.com.br/refap\\_funcionamento.asp](http://www.refap.com.br/refap_funcionamento.asp)

### Exemplo

Polimerização, fabricação de produtos farmacêuticos, iogurte.

Uma panela de arroz para o nosso almoço é um exemplo de processo descontinuo ou por batelada, pois passa por diversas etapas, que ocorrem uma depois da outra.

## 1.2 Instrumentação industrial

Para termos uma idéia do que é instrumentação e controle, podemos olhar para qualquer ser vivo, especialmente os humanos.

### A-Z

#### sensor

É um dispositivo tecnológico ou biológico que detecta, ou sente, um sinal ou condição física e compostos químicos. Podemos dividir os sensores grosseiramente em biológicos (existentes na natureza e que existem em nosso corpo) e artificiais (criados através de processos tecnológicos).

O nosso corpo é complexo, pois precisamos de vários **sensores** (ou instrumentos), para avaliar diversas grandezas e diversos processos.

- Quais são os sensores?

Nossos olhos, nariz, ouvidos, língua, pele para o sentido do tato, (temperatura, entre outros).

- Quais as grandezas a serem avaliadas?

Como exemplo, usamos os olhos para avaliar distâncias, baseados nas informações recebidas pelo cérebro e na experiência; portanto, a grandeza é a distância, que pode ser determinada em metros ou por aproximação (longe ou perto).

- Quais são os processos?

São aqueles que envolvem a vida: andar, saltar, trabalhar, entre outros.

- O que gerencia tudo isso?

O processo da vida é gerenciado pelo nosso controlador, o cérebro.

### 1.2.1 Instrumentação para controle de processos

Os processos industriais são variados, envolvem muitos tipos de produtos, máquina e matérias-primas. Também exigem controle adequado às exigências da precisão dos produtos gerados. Normalmente, os maiores usuários de **instrumentação industrial pesada** são as indústrias que atuam nas áreas de energia (petróleo, geração de energia elétrica, petroquímica), química, alimentos, siderúrgica, celulose e papel. Tais processos decorrem da complexidade de seus processos e exigência de muitos pontos de controle, além da rápida variação e exigência de valores precisos nos seus parâmetros.

### A-Z

#### instrumentação industrial pesada

É a denominação do conjunto formado por uma grande quantidade de instrumentos ligados a um ou mais controladores, em uma indústria.

Nos processos em geral é necessário controlar e manter constantes as principais variáveis como pressão, nível, vazão, temperatura, pH, condutividade e outras específicas para cada indústria.

Os instrumentos de medição, ligados aos elementos de controle, permitem controlar e manter estas variáveis em condições mais adequadas/precisas do que se elas fossem controladas manualmente por um operador. Isto se deve ao fato de que um operador não pode manter a sua atenção em tempo total.

### 1.2.2 Instrumentos

São ferramentas indispensáveis utilizadas para estabelecer e manter os padrões operacionais que identificam um produto a ser fabricado. São utilizados para controlar as variáveis em um processo ou sistema tão precisamente quanto necessário, a fim de alcançar as especificações do produto em composição, forma, cor ou acabamento.

O instrumento ou sistema de instrumentação pode ser:

Mecânico, hidráulico, eletrônico, pneumático, elétrico ou a combinação destes.



Exemplo de instrumento mecânico: Manômetro de *Bourdon*.

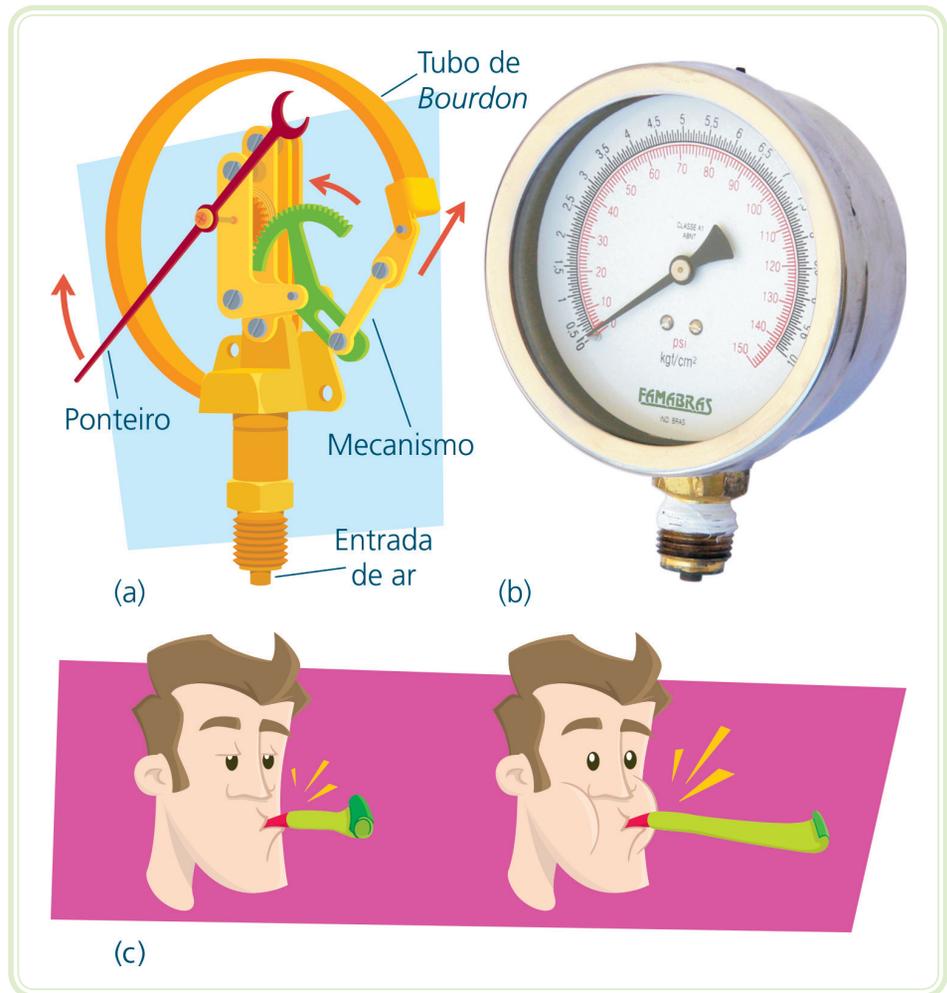


Figura 1.1: (a) Funcionamento do manômetro de *Bourdon*; (b) manômetro de *Bourdon*; (c) o tubo *Bourdon* funciona como a língua de sogra (brinquedo) quanto mais forte é o sopro, mais desenrola  
 Fonte: CTISM



No manômetro, os dispositivos básicos são:

**Detector** – entrada de ar

**Transdutor** – tubo de *Bourdon*

**Dispositivo de saída** – o ponteiro e a escala

Com a finalidade de demonstrar a importância do controle de um processo, vamos exemplificar coisas do cotidiano.

a) Liste produtos ou processos que fazemos todos os dias e que você conhece.

- b) Escolha um dos processos que você conheça profundamente.
- c) Descreva o processo, listando matérias primas, utensílios, ferramentas, salientando onde deverão ser controladas as variáveis do processo.

Cada instrumento ou sistema possui três dispositivos básicos: detector; transdutor (dispositivo de transferência intermediário) e dispositivo de saída.



O tipo de instrumento ou sistema depende das variáveis a serem controladas ou medidas e da rapidez e precisão requeridas.

A automação, com requisitos de controle por computador e registro de dados, expandiu o uso de estações ou sistemas de medição e controle. Para cada aplicação deve existir compreensão clara da função de cada instrumento e de suas limitações no sistema de medição e controle.

Devemos conhecer a teoria, a operação funcional e as interações entre os componentes do processo a ser medido ou controlado.

A importância de um instrumento em qualquer sistema de medição e controle depende da sua capacidade de ativar um dispositivo de controle e de segurança.

A instrumentação torna possível colocar a produção em massa sob controle e permite que se estabeleçam os limites do processo.

Instrumentação é a ciência que desenvolve e aplica técnicas de medição, indicação, registro e controle de processos de fabricação, visando a otimização e eficiência desses processos.

A seleção e aplicação de instrumentos de processo deverão ser concomitantes com a competência de processos industriais. São competências amplas e complexas, pelo volume de conhecimentos necessários para a operacionalização, pois ainda exigem conhecimentos de eletrônica, obtenção, transformação, movimentação de materiais e tubulações industriais.

### 1.2.3 Instrumentação industrial

Os processos industriais são semelhantes aos do corpo humano, porém iniciamos com a decisão do grau de automação desejado, pois no corpo humano, diversos processos são “automáticos”, independentemente da decisão ou da vontade, como a respiração, circulação sanguínea, os processos que envolvem a digestão e outros. Na área industrial, o grau de automação menor é de implantação mais barata e, um alto grau de automação exige compra e instalação de máquinas caras e complexas como os robôs industriais.

#### A-Z

##### campo

Na área industrial nos referimos à palavra “campo” como aquilo (instrumento, máquina, sensor) que não está dentro de um prédio.

##### sala de controle

É o local de um empreendimento industrial, onde estão centralizados os comandos e a recepção de sinais das máquinas e sistemas.

As antigas plantas de processo possuíam controladores e registradores instalados diretamente no **campo**, fisicamente muito próximos aos sensores e elementos finais de controle, o que garantia simplicidade e velocidade de comunicação entre esses elementos. Com o crescimento do número de processos gerenciados nas plantas, necessitou-se implantar **salas de controle** centralizado (veja a Figura 1.2), perdendo-se as vantagens obtidas pela referida proximidade entre os equipamentos. Isso gerou atrasos e dificuldades de manutenção na planta; entretanto, as vantagens geradas compensavam essas desvantagens.

A sala de controle pode ser guarnecida (com a presença de um operador), ou não.



Para se informar sobre as atividades de um operador de processo, acessar a revista *Átomo*, número 99 (maio de 2007, da ELETROBRÁS), disponível em:  
[http://www.eletronuclear.gov.br/atomo/index.php?id\\_atomo=76&id\\_materia=418](http://www.eletronuclear.gov.br/atomo/index.php?id_atomo=76&id_materia=418)



**Figura 1.2:** Sala de controle da usina nuclear de Angra dos Reis

Fonte: <http://eletronuclear.gov.br>

Com a evolução dos sistemas eletrônicos e das comunicações digitais que permitiu comunicação à longa distância, pôde-se retornar com os elementos controladores para o campo. Assim, diminuiu o atraso e a dificuldade de manutenção sem, contudo, perderem-se as funcionalidades de monitoramento, ajuste e configuração a partir de uma localização remota via internet ou por antenas (sistemas *wireless*).

A tecnologia atual evoluiu dessas implantações, concretizando os chamados Protocolos Abertos de Comunicação Digital, os quais possuem normas bem definidas e de domínio público que, se seguidas, garantem a intercomunicação entre equipamentos certificados, os quais podem ser fornecidos por vários fabricantes diferentes.

Esses protocolos ficaram conhecidos como barramentos de campo ou *fieldbus*, sendo os mesmos, classificados quanto ao tipo de dispositivo que comunicam e quanto ao formato dos dados que transportam.

Para que a automação de um processo possa ser executada adequadamente é necessário que tenhamos conhecimentos significativos de conceitos iniciando pelos conceitos básicos.

**a) Processo** – é o conjunto de operações necessárias para a obtenção de um produto ou o controle de uma operação.

Assim, transportamos esse conceito básico para a indústria em todos os seus segmentos, pois convivemos com diversos processos, alguns específicos – como na medicina encontramos os processos de sensoriamento e manutenção da vida: medidores de pressão, respiradores artificiais, máquinas de diálise (utilizadas para substituir um rim doente) entre outros, como os processos voltados à área de informação, trânsito de automóveis, etc.

Vamos fixar nossa atenção na indústria.

**b) Processo industrial** – é o conjunto de operações necessárias para a obtenção de um produto, simples ou complexo, ou o controle de uma operação no âmbito da indústria, que pode ser contínuo ou discreto.

A instrumentação é muito variada e ao mesmo tempo específica para cada segmento industrial e, ainda, ser especializada para um setor dentro de uma indústria.

## A-Z

### *wireless*

Significa rede sem fio. Refere-se a uma rede de computadores sem a necessidade do uso de cabos. Por meio de equipamentos que usam radiofrequência ou comunicação via infravermelho é estabelecida a comunicação.

### *fieldbus*

É um sistema de rede de comunicação industrial para controle em tempo real do processo.



Para se informar sobre rugosidade, acesse:  
<http://www.mspc.eng.br/tecdiv/rugosid110.shtml>  
[http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/5000033531\\_02\\_cap\\_02.pdf](http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/5000033531_02_cap_02.pdf)

### Exemplo

Para a indústria de usinagem que utiliza as máquinas CNC, necessita-se dos parâmetros de medidas lineares (comprimento, diâmetro) e rugosidade.

Já na indústria petroquímica teremos a necessidade de parâmetros diversos relacionados a fluidos (como temperatura, vazão e pressão), mas ainda teremos diferenças de instrumentos. Alguns serão comuns, outros serão utilizados em áreas classificadas, o que exige características especiais, o que torna um instrumento de área classificada, caro quando comparado a um instrumento comum.

Dessa maneira, este estudo deverá ser complementado sempre em função da especificidade de cada empresa ou de cada segmento.

### Resumo

Nesta aula estudamos os aspectos iniciais da instrumentação e sua ligação com os processos industriais, os tipos de processos e o que são instrumentos, elementos importantes para entender as próximas etapas, como os sistemas voltados à metrologia.



### Atividades de aprendizagem

1. O que é processo?
2. O que é processo industrial?
3. Cite um processo de produção industrial contínuo e um descontínuo.
4. Cite cinco variáveis de processo.
5. O que são instrumentos?
6. Explique os três dispositivos básicos dos instrumentos.
7. Defina instrumentação.
8. Liste quatro instrumentos industriais.

# Aula 2 – Metrologia

## Objetivos

Estabelecer as diferenças entre **metrologia** e instrumentação para desenvolver a base da automação.

Compreender como ocorre a medição de grandezas.

Despertar nos alunos o interesse pelas diferenças sutis dos sistemas de medição.

Desenvolver ações de conscientização, orientação e pesquisa voltadas aos sistemas de medição.

Relacionar os termos técnicos em português e inglês.

## A-Z

### metrologia

É a ciência das medições.

Abrange todos os aspectos teóricos e práticos que asseguram a precisão exigida no processo produtivo, procurando garantir a qualidade de produtos e serviços através da calibração de instrumentos de medição, sejam eles analógicos ou eletrônicos (digitais), e da realização de ensaios, sendo a base fundamental para a competitividade das empresas. Metrologia também diz respeito ao conhecimento dos pesos e medidas e dos sistemas de unidades de todos os povos, antigos e modernos.

### INMETRO

O Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – Inmetro – é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Atua como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), colegiado interministerial, que é o órgão normativo do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

## 2.1 Conceitos fundamentais

Juntamente com a colocação dos conceitos fundamentais relacionados à Metrologia, será definida uma terminologia compatível, com normas nacionais e internacionais. Essa terminologia será usada nesta disciplina. Procura-se respeitar uma base técnica científica e a objetividade. Pode-se encontrar diferença em relação a outras instituições, já que ainda não existe uma terminologia comum em uso no Brasil. A terminologia a ser utilizada possui uma forte influência do VIM, Vocabulário Internacional de Metrologia (no Brasil publicado pelo **INMETRO**).

### 2.1.1 A diferença entre metrologia e instrumentação

Para iniciar o estudo da metrologia, torna-se necessário fazer uma distinção entre metrologia e instrumentação.

A **metrologia** é a ciência da medição. Trata dos conceitos básicos, dos métodos, dos erros e sua propagação, das unidades e dos padrões envolvidos na quantificação de grandezas físicas, bem como da caracterização do com-

## A-Z

### caixa preta

São os elementos desconhecidos, de difícil entendimento ou ocultos de alguma coisa.



Veja mais informações sobre metrologia:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/metrologia>

Pesquise sobre instrumentação, acessando:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/instrumenta%C3%A7%C3%A3o>

portamento estático e dinâmico dos sistemas de medição. Na metrologia, o sistema de medição é considerado uma **caixa preta**.

A instrumentação é o conjunto de técnicas e instrumentos usados para observar, medir, registrar, controlar e atuar em fenômenos físicos. A instrumentação preocupa-se com o estudo, desenvolvimento, aplicação e operação dos instrumentos.

## 2.1.2 O procedimento de medir

**Medição (*measurement*)** – conjunto de operações que tem por objetivo determinar o valor de uma grandeza (a medir), por meio de processos manuais ou automáticos.

A “Grandeza a Medir” (GM) pode ser temperatura, força, umidade, intensidade luminosa, pH, comprimento, etc. A operação de medição é realizada, genericamente, por um “Sistema de Medição” (SM). Vários outros nomes podem ser encontrados para designar um sistema de medição, tais como máquina de medir, medidor, instrumento de medição, aparelho de medir, equipamento de medição.

Obtém-se da operação instrumentada a chamada “Leitura” (L) que é caracterizada por um número (lido pelo operador) acompanhado da unidade de leitura.

A medida é o valor correspondente ao valor momentâneo da grandeza a medir, no instante da leitura, obtida pela aplicação dos parâmetros do sistema de medição. A leitura é expressa por um número acompanhado da unidade da grandeza a medir. A transformação da leitura em medida obedece aos parâmetros do sistema de medição que podem ser:

fator multiplicativo	fator aditivo
fator aditivo e multiplicativo	correlação analítica
correlação tabular	correlação gráfica e outros

Resumindo

$M = L$  (parâmetro do sistema de medição) + unidade de medida.

Para o leigo, o trabalho de medição terminaria ao se obter um número. Para que se pudesse afirmar isto, duas hipóteses deveriam ser cumpridas:

- A medida é relativa a uma dimensão perfeita.
- O sistema de medição é pereito.

Efetivamente nada é perfeito, portanto o trabalho de medição não termina neste ponto. Na verdade, aqui se inicia o trabalho do profissional dedicado à metrologia, que deve chegar à informação denominada “Resultado de Medição” (RM).

O resultado de medição expressa propriamente o que se conhece sobre o valor da grandeza medida, e é um “Resultado Base” (RB) acompanhado de sua indeterminação ou “Incerteza da Medição” (IM) e da unidade da “Grandeza Medida” (GM). Veja a fórmula abaixo:

$$RM = RB \pm IM \text{ (unidade da GM)}$$

Onde:  
Resultado de Medição = Resultado Base  $\pm$  Incerteza da Medição.

### Exemplo

É dada uma série de medidas:

50,40 mm; 50,37 mm; 50,39 mm; 50,38 mm; 50,36 mm.

Após o tratamento desses dados, que podem representar comprimento qualquer, o resultado seria:

$$RM \text{ (Resultado de Medição)} = 50,38 \pm 0,04 \text{ mm}$$

Compare:

50,40 mm é menor que 50,42 é maior que 50,34 mm;

50,37 mm é menor que 50,42 é maior que 50,34 mm;

50,39 mm é menor que 50,42 é maior que 50,34 mm;

50,38 mm é menor que 50,42 é maior que 50,34 mm;

50,36 mm é menor que 50,42 é maior que 50,34 mm.

Como se pode ver não se sabe o valor exato da medida. Só se pode afirmar que o resultado provável está entre 50,34 mm e 50,42 mm.

No resultado de medição, o resultado base pode ser uma medida, ou a obtenção de várias medidas, ou um valor calculado em função de diversas outras grandezas medidas, etc.

A incerteza de medição, caracterizada pelo limite superior e inferior em relação ao resultado base, aparece devido a:

- Erros no sistema de medição;
- Variação da grandeza medida.

Em função dos erros dos sistemas de medição e da variação da grandeza medida, a medição deverá ser realizada, com base no:

- Conhecimento do processo que define a grandeza medida;
- Conhecimento do sistema de medição;
- Bom senso.

A determinação do resultado da medição não é uma atividade simples. É necessário que todos os envolvidos em metrologia dominem:

- Estatística básica;
- Conhecimento de qualificação de sistemas de medição;
- Métodos.

Somente assim se pode fazer uma metrologia dimensional correta e com confiabilidade. Antes de abordar mais profundamente esse assunto, outros conceitos precisam ser revistos.

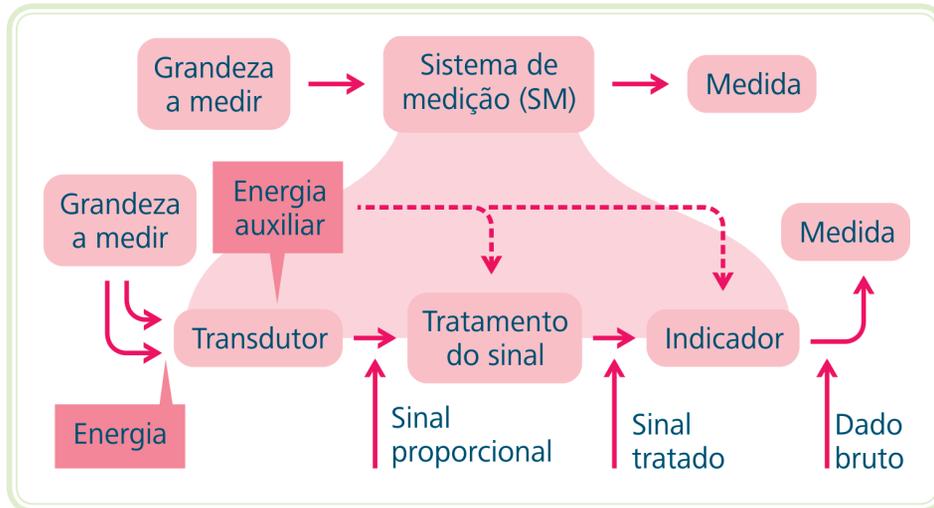
### 2.1.3 Sistema generalizado de medição

Apesar de a metrologia ocupar-se, do SM (Sistema de Medição) como “caixa preta”, é importante, neste ponto, analisar sua constituição básica (Figura 2.1). Em muitos casos torna-se interessante caracterizar em módulos estes SMs, de forma independente ou para formar um novo sistema de Medição pelo acoplamento de módulos diversos. Pode-se caracterizar da seguinte forma:

**Transdutor** – transforma a grandeza medida em um sinal proporcional (mecânico, pneumático elétrico ou outro) segundo uma função transferência, baseada em um ou mais fenômenos físicos.

**Tratamento do sinal** – necessário, pois na maioria dos casos, os transdutores oferecem um sinal de baixa amplitude. Além da função amplificação, pode também ter filtros, processamento, etc.

**Indicador** – recebe o sinal tratado e transforma em dados inteligíveis para o usuário.



**Figura 2.1: Sistema generalizado de medição**

Fonte: CTISM

### 2.1.4 Unidades e padrões

**Medir** é comparar uma grandeza qualquer com uma unidade previamente estabelecida. Como se vê a unidade é essencial para a realização da medição. As unidades são então estabelecidas por padrões segundo normas da convenção própria, regional, nacional ou internacional.

No transcorrer do tempo, diversos foram os sistemas de unidades estabelecidos nas diferentes regiões do mundo. Em função do intercâmbio internacional de produtos e informações, bem como da própria incoerência entre muitas unidades anteriormente adotadas, estabeleceu-se em 1960, um conjunto coerente de unidades (SI), que consta de unidades de base, derivadas e suplementares.

O sistema internacional é homogêneo, coerente, absoluto e decimal.

- a) É homogêneo porque, fixadas as grandezas e suas unidades fundamentais, é possível derivar delas outras grandezas e unidades.
- b) É coerente porque a multiplicação ou a divisão de duas ou mais grandezas origina a unidade de uma nova grandeza.
- c) É absoluto porque as unidades fundamentais são inalteráveis.
- d) É decimal porque as unidades das grandezas são sempre múltiplos ou submúltiplos de dez.



Existem diversos sistemas de unidade, sendo que o sistema inglês é ainda bastante utilizado, sendo ele baseado, supostamente, nas medidas do rei.

- a) Polegada – correspondente à largura do polegar do rei.
- b) Uma polegada equivale a 25,4 mm.
- c) O pé equivale a 12 polegadas.
- d) Uma jarda, equivalente a um passo, vale 3 pés de comprimento.

Para se ter uma ideia da razão e evolução das unidades, vamos fazer um breve relato da história do metro.

A história do metro inicia por volta do ano de 1790 na França, onde se procurava a definição de um padrão do comprimento que não dependesse nem do corpo humano nem de materializações deterioráveis pelo tempo.

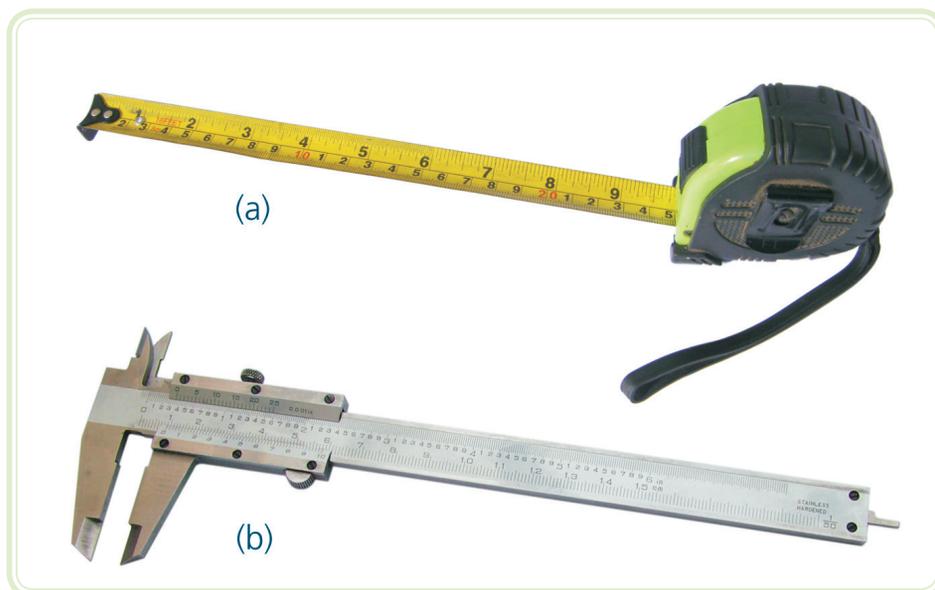
Nessa época ele foi definido como a décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre que passa por Paris. Em 20 de maio de 1875 foi adotada, como unidade oficial de medidas de 18 nações.

O metro foi definido em 1960 como sendo 1.670.763,73 vezes o comprimento de onda de uma luz emitida pela transição entre os níveis de energia  $2p_{10}$  e  $5d_5$  do átomo de Kriptônio 86 no vácuo. Dessa forma, conseguia-se uma reprodução do metro com um erro de  $\pm 1\phi$  nm.

Em 1983, o metro passou a ter uma nova definição que é a seguinte: “um metro é a distância percorrida pela luz no vácuo, no intervalo do tempo de  $1/299.792.458$  de segundo”. O erro atual de reprodução por este meio corresponde a  $\pm 1,3$  nm, o que significa um erro de 1,3 milímetros para 1000 quilômetros.

O metro em si, com o passar do tempo, não foi alterado. O que ocorreu foi uma impressionante melhoria na precisão de sua definição. Além disso, obteve-se dessa forma, um padrão internacional indestrutível, não sujeito ao desgaste devido ao uso ou mudança física e que pode ser repetido simultaneamente em todas as partes do mundo.

A materialização da dimensão pode ser realizada através de trenas, réguas e diversos instrumentos, selecionados conforme a precisão exigida. Veja Figura 2.2.



**Figura 2.2:** (a) Trena comum e (b) paquímetro

Fonte: CTISM

O uso do sistema internacional é obrigatório no Brasil e traz uma série de vantagens:

- Simplificação das equações que descrevem os fenômenos físicos, pelo fato de existir coerência entre as unidades das grandezas envolvidas.
- Facilidade de entendimento das informações em nível internacional (comercial e científico).
- Demonstração da maturidade técnico-científica pelo abandono dos sistemas superados.

## Resumo

Nesta aula passamos pelos conceitos iniciais da metrologia e por consequência, da instrumentação. É uma atividade penosa para o aluno, porém fundamental para a compreensão das etapas seguintes.

## Atividades de aprendizagem

1. Qual o conceito de metrologia?
2. Cite cinco grandezas que podem ser medidas.



Para saber mais sobre paquímetro, pesquise em:  
<http://www.starrett.com.br/>

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Paqu%C3%ADmetro>

<http://www.youtube.com/watch?v=jqSEirwBZ3E>  
Simulador de paquímetro e precisão de 0,02 mm:

[http://www.stefanelli.eng.br/webpage/p\\_paq\\_02.html](http://www.stefanelli.eng.br/webpage/p_paq_02.html)



3. O que é medida?
4. O resultado de uma medição é exato? Justifique.
5. Quais são os procedimentos de determinação do resultado de medição?
6. Quais as bases do procedimento de determinação do resultado de medição?
7. O que é medir?
8. Quais são as características do Sistema Internacional?
9. Qual a definição de metro?
10. Quais as vantagens do uso do Sistema Internacional?

# Aula 3 – Unidades legais de medida

## Objetivos

Proporcionar ao aluno a possibilidade de estabelecer as relações entre as grandezas e suas unidades.

Despertar para a importância das grandezas e sua correta expressão.

Desenvolver a percepção das relações entre as grandezas diversas.

## 3.1 Introdução às unidades de medidas

As informações aqui apresentadas irão ajudar você a compreender e a usar corretamente as unidades de medida adotadas no Brasil. A necessidade de medir é muito antiga e remonta à origem das civilizações. Por longo tempo, cada país, cada região, teve o seu próprio sistema de medidas, baseado em unidades arbitrárias e imprecisas, como as baseadas no corpo humano: palmo, pé, polegada, braça, côvado, e outras unidades. Isso criava muitos problemas para o comércio, porque as pessoas de uma região não estavam familiarizadas com o sistema de medida das outras. Imagine a dificuldade em comprar ou vender produtos cujas quantidades eram expressas em unidades de medida diferentes e que não tinham correspondência entre si.

Em 1789, a Academia de Ciências da França criou um sistema de medidas baseado numa “constante natural”. Assim, foi criado o **Sistema Métrico Decimal**. Posteriormente, muitos outros países adotaram o sistema, inclusive o Brasil, aderindo à “Convenção do Metro”.

O Sistema Métrico Decimal adotou, inicialmente, três unidades básicas de medida: **metro, litro e quilograma**.

Entretanto, o desenvolvimento científico e tecnológico passou a exigir medições cada vez mais precisas e diversificadas. Por isso, em 1960, o sistema métrico decimal foi substituído pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), mais complexo e sofisticado, adotado também pelo Brasil em 1962 e rati-

ficado pela Resolução nº 12 de 1988 do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Conmetro), tornando-se de uso obrigatório em todo o Território Nacional. O Quadro 3.1 esclarece como escrever as unidades SI.

Quadro 3.1: Como escrever as unidades do SI	
Nome	Em letra minúscula
	Formação no plural
	Pronúncia correta
Símbolo	Não é abreviatura
	Não é expoente
	Não tem plural

## 3.2 Unidades do Sistema Internacional múltiplos e submúltiplos das unidades

### 3.2.1 O grama

O grama pertence ao gênero masculino. Por isso, ao escrever e pronunciar essa unidade, seus múltiplos e submúltiplos, faça a concordância correta.

#### Exemplo

Dois quilogramas, quinhentos miligramas, duzentos e dez gramas, oitocentos e um gramas.

### 3.2.2 Prefixo quilo

O prefixo quilo (símbolo k) indica que a unidade está multiplicada por mil. Portanto, não pode ser usado sozinho. Veja o Quadro 3.2, como se usam os prefixos quilo de maneira correta.

Quadro 3.2: Como usar o prefixo quilo		
Certo	Errado	Significado
Quilômetro; km	Kilômetro	Mil metros
Quilograma; kg	Kilograma, Quilo, k	Mil gramas
Quilolitro; kl	Kílolitro	Mil litros

### 3.2.3 Medidas de tempo

Ao escrever as medidas de tempo, observe o uso correto dos símbolos para hora, minuto e segundo.

Quadro 3.3: Emprego dos símbolos	
Certo	Errado
9 h 25 min 6 s	9:25h 9h 25' 6"

Os símbolos ' e " representam minuto e segundo em unidades de ângulo plano e não de tempo.



### 3.2.4 Unidades do SI em uso

Quadro 3.4: Principais unidades do SI			
Grandeza	Nome	Plural	Símbolo
Comprimento	Metro	Metros	m
Área	Metro quadrado	Metros quadrados	m <sup>2</sup>
Volume	Metro cúbico	Metros cúbicos	m <sup>3</sup>
Ângulo plano	Radiano	Radianos	rad
Tempo	Segundo	Segundos	s
Frequência	Hertz	Hertz	Hz
Velocidade	Metro por segundo	Metro por segundo	m/s
Aceleração	Metro por segundo ao quadrado	Metro por segundo ao quadrado	m/s <sup>2</sup>
Massa	Quilograma	Quilogramas	kg
Massa específica	Quilograma por metro cúbico	Quilogramas por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>
Vazão	Metro cúbico por segundo	Metros cúbicos por segundo	m <sup>3</sup> /s
Quantidade de matéria	Mol	Mols	mol
Força	Newton	Newtons	N
Pressão	Pascal	Pascals	Pa
Trabalho, energia quantidade de calor	Joule	Joules	J
Potência, fluxo de energia	Watt	Watts	Watts
Corrente elétrica	Ampère	Ampères	A
Carga elétrica	Coulomb	Coulombs	C
Tensão elétrica	Volt	Volts	V
Resistência elétrica	Ohm	Ohms	Ω
Condutância	Siemens	Siemens	S
Capacitância	Farad	Farads	F
Temperatura Celsius	Grau Celsius	Grau Celsius	°C

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo
Temperatura termodinâmica	Kelvin	Kelvins	K
Intensidade Luminosa	Candela	Candelas	cd
Fluxo luminoso	Lúmen	Lúmens	lm
Iluminamento	Lux	Lux	lx

**Quadro 3.5: Unidades do SI em uso**

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo	Equivalência
volume	litro	litros	l ou L	0,001 m <sup>3</sup>
ângulo plano	grau	graus	x <sup>o</sup>	$\frac{\pi}{180}$ rad
ângulo plano	minuto	minutos	x'	$\frac{\pi}{10800}$ rad
ângulo plano	segundo	segundos	x''	$\frac{\pi}{648000}$ rad
massa	tonelada	toneladas	t	1000 kg
tempo	minuto	minutos	min	60 s
tempo	hora	horas	h	3600 s
velocidade angular	rotação por minuto	rotações por minutos	rpm	$\frac{\pi}{30}$ rad/s

### 3.2.5 Unidades do SI fora de uso

**Quadro 3.6: Unidades do SI fora de uso**

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo	Equivalência
pressão	atmosfera	atmosferas	atm	101325 Pa
pressão	bar	bars	bar	10 <sup>5</sup> Pa
pressão	milímetro de mercúrio	milímetros de mercúrio	mmHg	133,322 Pa aprox.
quantidade de calor	caloria	calorias	cal	4,1868 J
área	hectare	hectares	ha	10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
força	quilograma-força	quilograma-forças	kgf	9,80665 N
comprimento	milha marítima	milhas marítimas	-----	1852 m
velocidade	nó	nós	-----	1852 m/h

**Quadro 3.7: Prefixos para múltiplos e submúltiplos**

	Nome	Símbolo	Fator de multiplicação da unidade
Múltiplos	yotta	Y	$10^{24} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
	zetta	Z	$10^{21} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
	exa	E	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
	peta	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
	tera	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
	giga	G	$10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$
	mega	M	$10^6 = 1\ 000\ 000$
	quilo	k	$10^3 = 1\ 000$
	hecta	h	$10^2 = 100$
	deca	da	10
Submúltiplos	deci	d	$10^{-1} = 0,1$
	centi	c	$10^{-2} = 0,01$
	mili	m	$10^{-3} = 0,001$
	micro	$\mu$	$10^{-6} = 0,000\ 001$
	nano	n	$10^{-9} = 0,000\ 000\ 001$
	pico	p	$10^{-12} = 0,000\ 000\ 000\ 001$
	femto	f	$10^{-15} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 001$
	atto	a	$10^{-18} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
	zepto	z	$10^{-21} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$
	yocto	y	$10^{-24} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

Os múltiplos mega, giga e tera são utilizados na informática para designar as capacidades de processamento dos processadores e computadores.



- a) Para formar o múltiplo ou submúltiplo de uma unidade, basta colocar o nome do prefixo desejado na frente do nome dessa unidade. O mesmo se dá com o símbolo.

### Exemplo

Para multiplicar a unidade volt por mil:

quilo + volt = quilovolt ; k + V = kV

Para dividir a unidade volt por mil:

mili + volt = milivolt ; m + V = mV

b) Os prefixos SI também podem ser empregados com unidades fora do SI.

#### Exemplo

Milibar, quilocaloria, megatonelada, hectolitro.



O hectolitro é uma unidade de medida usada na indústria de vinhos e cervejarias para tanques de estocagem e processamento.

Equidade a 100 litros.

c) Por motivos históricos, o nome da unidade SI de massa contém um prefixo, por exemplo: quilo, mili, etc. Por isso, os múltiplos e submúltiplos dessa unidade são formados a partir do grama.

#### Exemplo

Quilograma, miligrama.

### 3.3 Unidades de base

O SI definiu **sete grandezas físicas independentes** e estabeleceu para cada grandeza um valor unitário definido por um padrão.

A mudança do padrão pode ocorrer, mas não significa que o valor unitário seja alterado. Através de um novo padrão poderá ser alcançada uma forma de reprodução mais prática e/ou com menos erros.

As unidades bases são:

Intensidade de corrente elétrica (A)	Comprimento (m)
Temperatura termodinâmica (K)	Massa (kg)
Intensidade luminosa (cd)	Tempo (s)
Quantidade de matéria (mol)	

### 3.4 Unidades derivadas

Unidades derivadas são aquelas formadas pela combinação das unidades de base segundo relações algébricas que correlacionam às grandezas correspondentes.

Como exemplos de unidades derivadas podem citar, entre muitas outras:

Quadro 3.8: Unidades do SI			
Nome e Símbolo (como escrever as unidades SI)			
Superfície	Metro quadrado	$m^2$	m . m
Força	Newton	N	m . kg . $s^{-2}$
Energia, trabalho	Joule	J	$m^2 . kg . s^{-2}$

### 3.5 Unidades suplementares

São unidades que não foram enquadradas ainda nas categorias anteriores. Trata-se basicamente das unidades de ângulo plano (radiano) e ângulo sólido (esteradiano) que não são derivadas e tem definições matemáticas próprias, não necessitando de um padrão físico.

### 3.6 Por que medidas confiáveis?

A necessidade de uma boa definição do processo de medição e medidas confiáveis de comprimento é percebida no mundo moderno, pois as indústrias dependem da medição de comprimento. Desde a rosca de uma porca e de um parafuso, até as partes usinadas do motor de um carro ou as pequenas estruturas dos **microchips** requerem um padrão de comprimento internacional bastante **acurado**. Essa necessidade é mais importante se considerarmos a economia global. Sem essa preocupação, por exemplo, a asa de um avião fabricada no Reino Unido não se ajustaria à fuselagem fabricada na França.

### Resumo

Nesta aula conhecemos as Unidades Legais de Medidas, os seus múltiplos e submúltiplos. Observamos os prefixos utilizados como indicadores para as diversas potências de 10 nas grandezas e sua importância.



Pesquise mais sobre microchips, acessando: <http://www.lsi.usp.br/~chip/>

Pesquise, ainda, sobre acurado em: <http://pt.wiktionary.org/wiki/acurado>



## Atividades de aprendizagem

1. Que organismo criou o “Sistema Métrico Decimal”?
2. Pesquise na rede outros sistemas de medida. Verifique o sistema de unidade de medida baseado nas partes do corpo humano.
3. Quando o Sistema Internacional de Unidades foi adotado oficialmente no Brasil e quando foi ratificado?
4. O prefixo quilo (k) tem qual significado? Dê um exemplo.
5. Qual é a grandeza representada pelas unidades Bar? Cite a unidade oficial para esta grandeza.
6. A unidade “nó” representa que grandeza? Cite a sua equivalência no Sistema Internacional de Unidades.
7. A produção de bebidas é medida com o uso da grandeza de volume em hectolitros? Qual volume equivalente a 2,5 hectolitros?
8. Quais são as sete unidades base do SI?
9. O que são unidades derivadas do SI?
10. Qual é a unidade de medida considerada suplementar?

# Aula 4 – Características dos sistemas de medição

## Objetivos

Definir os parâmetros de um instrumento, para compreender os sistemas de erros.

Apresentar os elementos necessários para a compreensão dos instrumentos.

Identificar as características dos sistemas de medição.

O comportamento funcional de um sistema de medição é descrito pelas suas características (parâmetros) operacionais e metrológicas. Aqui se define e analisa uma série desses parâmetros para uso correto da terminologia e melhor caracterização dos sistemas de medição.



Pelo uso frequente da língua inglesa nos sistemas de automação, será colocada entre parênteses a expressão equivalente em inglês.

## 4.1 Padrões da calibração

### 4.1.1 Padrão (*Standard*)

Medida materializada, instrumento de medição, material de referência ou sistema de medição destinado a definir, realizar, conservar ou reproduzir uma unidade de um ou mais valores de uma grandeza para servir como referência.

### 4.1.2 Calibração (*Calibration*)

Conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

## A-Z

### mensurando

(*mesurande, measurand*):  
Objeto da medição.

Grandeza específica  
submetida à medição.

Exemplo: Pressão de vapor de  
uma dada amostra de água a  
20°C.

Observação: A especificação de  
um mensurando pode requerer  
informações de outras grandezas  
como tempo, temperatura ou  
pressão.

### Exemplo

Massa padrão de 1 kg

Resistor padrão de 100  $\Omega$

Padrão de frequência de césio

Amperímetro padrão

Eletrodo padrão de hidrogênio

Solução de referência de cortisol no soro humano, tendo uma concentração certificada.

### Observação

Um conjunto de medidas materializadas similares ou instrumentos de medição que, utilizados em conjunto, constituem um padrão coletivo.

Um conjunto de padrões de valores escolhidos que, individualmente ou combinados, formam uma série de valores de grandezas de uma mesma natureza é denominado coleção padrão.

### Observação

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do **mensurando** para as indicações como a determinação das correções a serem aplicadas.

## 4.2 Faixa nominal (*Nominal Range*)

Faixa de indicação que se pode obter em uma posição específica dos controles de um instrumento de medição.

### Observação

Faixa nominal é geralmente definida em termos de limite inferior e superior, por exemplo: "100°C a 200°C".

Quando o limite inferior é zero, a faixa nominal é definida unicamente no limite superior:

### Exemplo

A faixa nominal de 0 V a 100 V é expressa como "100 V".

### Exemplo

FI (Faixa de Indicação) manômetro: 0 a 20 bar

FI (Faixa de Indicação) termômetro: 700 a 1200°C

## 4.2.1 Amplitude da faixa nominal (Span)

Diferença, em módulo, entre os dois limites de uma faixa nominal.

### Exemplo

Para uma faixa nominal de  $-10^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$  a amplitude da faixa nominal é  $60^{\circ}\text{C}$ .

### Observação

Em algumas áreas, a diferença entre o maior e o menor valor é denominada faixa.

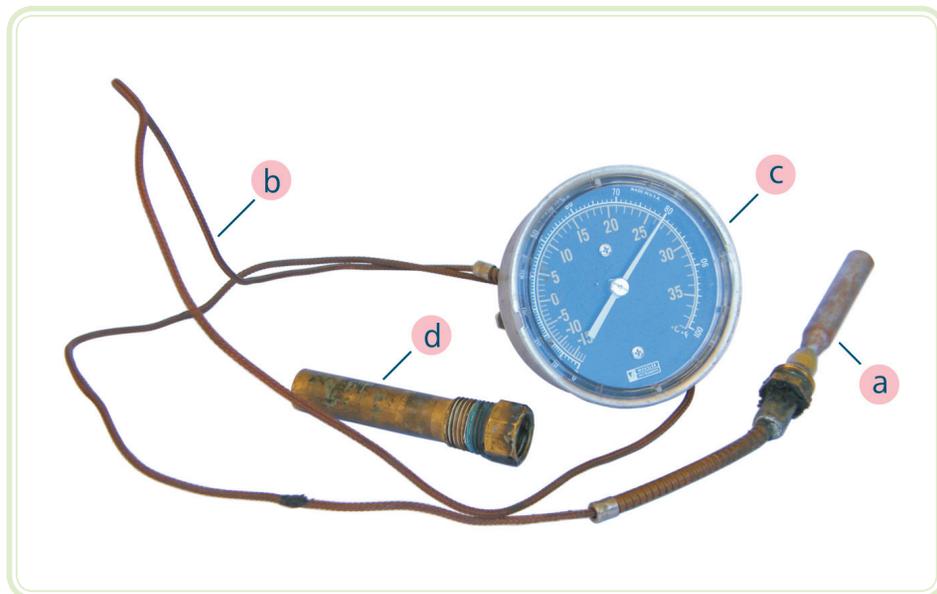
### Exemplos

Termômetro (Figura 4.1):

FO (Faixa de Operação): de  $-50^{\circ}$  a  $+50^{\circ}$  Celsius.

Medidor de deslocamento:

FO (Faixa de Operação): de  $-0,050$  a  $+0,050$  mm.



**Figura 4.1: Termômetro de haste flexível: (a) sensor; (b) haste flexível; (c) mostrador e (d) poço do termômetro**

Fonte: CTISM

Poço do termômetro é um tubo fechado em um dos lados. Este lado é conectado ao processo. No lado oposto é introduzido o sensor do termômetro. O poço é utilizado quando se necessita desconectar o sensor sem a parada do processo ou, quando o sensor não suporta a agressão química ou pressão do processo.



### 4.3 Faixa de medição (*Measuring Range*)

Conjunto de valores de um mensurando para o qual se admite que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados. Também é conhecido como FO (Faixa de Operação) que é menor ou, no máximo, igual à FI (Faixa de Indicação). A FO pode ser obtida por meio de:

- Manual de utilização do Sistema de Medição.
- Sinais gravados sobre a escala.
- Especificações de normas técnicas.

### 4.4 Escala de um instrumento de medição (*Scale of a Measuring Instrument*)

Conjunto ordenado de marcas, associado a qualquer numeração, que faz parte de um dispositivo mostrador de um instrumento de medição.

#### Observação

Cada marca é denominada de marca de escala.

#### 4.4.1 Comprimento de escala (*Scale Length*)

É o comprimento da linha compreendida entre a primeira e a última marca, passando pelo centro de todas as marcas menores.

#### Observação

A linha pode ser real ou imaginária, curva ou reta.

O comprimento da escala é expresso em unidades de comprimento, qualquer que seja a unidade do mensurando ou a unidade marcada sobre a escala.

#### 4.4.2 Divisão de escala (*Scale Division*)

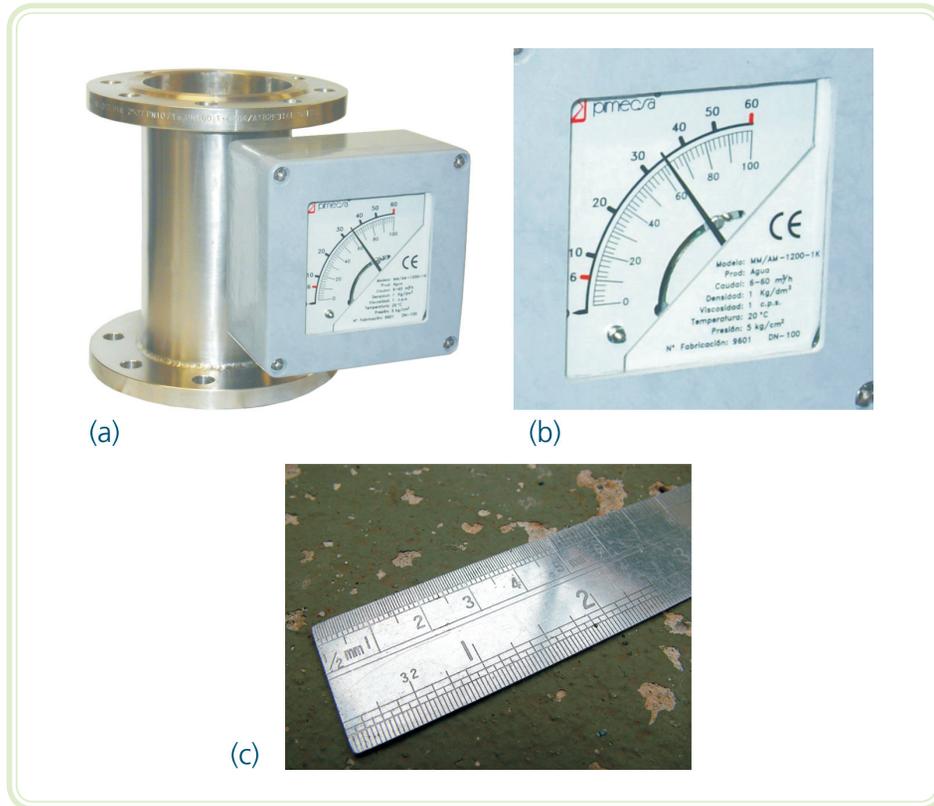
Parte de uma escala compreendida entre duas marcas sucessivas quaisquer. Característica de um sistema de medição analógico através de um **índice** (ver Figura 4.2).

#### Exemplos

Manômetro: DE (Divisão de Escala) = 0,1 kgf/cm<sup>2</sup>

Termômetro: DE (Divisão de Escala) = 5°C

Régua Escolar: DE (Divisão de Escala) = 1 mm



**Figura 4.2:** (a) Caudalímetro ou medidor de vazão; (b) zoom no medidor, divisão de escala em  $10 \text{ m}^3/\text{hora}$  ou 1% e (c) escala mecânica, divisão em mm

Fontes: (a) e (b) <http://www.pimecsa.com>  
(c) CTISM

## 4.5 Índice (*Index*)

A parte fixa ou móvel de um dispositivo mostrador cuja posição em relação às marcas de escala permite determinar um valor indicado.

### Exemplos

Ponteiro, ponto luminoso, superfície de um líquido, pena de registrador.

## 4.6 Resolução de um dispositivo mostrador (*Resolution of a Displaying Device*)

É a menor diferença entre indicações de um dispositivo mostrador que pode ser significativamente percebida.

### Exemplos

Para dispositivo mostrador digital é a variação na indicação quando o dígito menos significativo varia de uma unidade. Este conceito também se aplica a um dispositivo registrador.

## Resumo

Nesta aula reconhecemos os parâmetros para compreender a operação dos instrumentos. Dessa maneira, entendemos por que existem e são necessárias tantas variações de instrumentos em uma mesma grandeza.

Todos esses elementos são preparatórios para a especificação de um instrumento, porém ainda iniciais. Nesse caso, após escolhido o que medir (temperatura, por exemplo) determinaremos as necessidades do processo e a especificação do instrumento.



## Atividades de aprendizagem

1. Qual é a diferença entre padrão e calibração de um instrumento?
2. Como são conhecidos os limites (de escala) inferior ou superior de um instrumento?
3. Um termômetro possui no indicador os valores de  $-60^{\circ}\text{C}$  e  $+100^{\circ}\text{C}$ . Qual a amplitude da faixa nominal desse instrumento?
4. “A Faixa de Medição de um instrumento é o conjunto de valores de um mensurando para o qual se admite que o erro de um instrumento de medição mantém-se dentro dos limites especificados. Também é conhecido como faixa de operação.” Considerando o texto acima, responda: A Faixa de Medição pode ser maior que a Faixa Nominal?
5. Podemos ter instrumentos com a mesma faixa de medição e diferentes divisões de escala? Justifique.
6. Escreva três exemplos de índices de instrumentos.
7. O que é resolução de um instrumento?
8. Pesquise na rede um tipo de instrumento (exemplo: termômetro). Observe as aplicações (clínicas, industriais), seus materiais de construção (vidro, aços comuns, aços inoxidáveis). Faça um breve relato do que você pesquisou.

# Aula 5 – Processos de medição

## Objetivos

Conhecer os conceitos relativos ao processo de medição.

Determinar as características metrológicas dos instrumentos e suas relações com os processos de medição.

## 5.1 Erro de medição (*Error of Measurement*)

É o resultado de uma medição menos o valor verdadeiro do mensurando.

### Observação

Uma vez que o valor verdadeiro não pode ser determinado, utiliza-se, na prática, um valor verdadeiro convencional.

Quando for necessário distinguir “erro” de “erro relativo”, o primeiro é, algumas vezes, denominado “erro absoluto da medição”. Este termo não deve ser confundido com “valor absoluto do erro”, que é o módulo do erro.

## 5.2 Valor de uma grandeza (*Value of a Quality*)

É a expressão quantitativa de uma grandeza específica, representada geralmente sob a forma de uma unidade de medida multiplicada por um número.

### Exemplos

- Massa de um corpo: 0,152 kg ou 152 g.
- Comprimento de uma barra: 5,34 m ou 534 cm.
- Quantidade de matéria de uma amostra de água: 0,012 mol ou 12 mmol.

### Observação

- O valor de uma grandeza pode ser positivo, negativo ou nulo.
- O valor de uma grandeza pode ser expresso de uma maneira ou mais.
- Os valores de grandezas adimensionais são geralmente expressos apenas por números.

- Uma grandeza que não puder ser expressa por uma unidade de medida multiplicada por um número, pode ser expressa por meio de uma escala de referência convencional, por um procedimento de medição ou por ambos.

### 5.2.1 Valor verdadeiro de uma grandeza (*True Value of a Quality*)

É o valor equivalente à definição de uma dada grandeza específica.

#### Observação

É um valor que seria obtido por uma medição perfeita. Valores verdadeiros são, por natureza, indeterminados.

### 5.2.2 Valor verdadeiro convencional de uma grandeza (*Conventional true Value of a Quality*)

É o valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes, por convenção, tendo uma incerteza apropriada para uma dada finalidade.

#### Exemplos

Em um determinado local, o valor atribuído a uma grandeza, por meio de um padrão de referência, pode ser tomado como um valor verdadeiro convencional.

O CODATA (1986) recomendou o valor para a constante de Avogrado como sendo  $A = 6,0221368 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$ .

#### Observação

“Valor verdadeiro convencional” é, às vezes, denominado “valor designado, melhor estimativa de valor, valor convencional ou valor de referência”.

Frequentemente, um grande número de resultados de medições de uma grandeza é utilizado para estabelecer um valor verdadeiro convencional.

## A-Z

### tendência

(de um instrumento de medição): Erro sistemático da indicação de um instrumento de medição.

Observação: Tendência de um instrumento de medição é normalmente estimada pela média dos erros de indicação de um número apropriado de medições repetidas.

## 5.3 Erro sistemático (*Systematic Error*)

É a média que resultaria de um infinito número de medições do mesmo mensurando, efetuadas sob condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando.

#### Observação

Erro sistemático é igual ao erro menos o erro aleatório. Analogamente ao valor verdadeiro, o erro sistemático e suas causas não podem ser completamente conhecidos. Para um instrumento de medição, ver **tendência**.

## 5.4 Correção (Correction)

É o valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático.

### Observação

A correção é igual ao erro sistemático estimando com sinal trocado. Uma vez que o erro sistemático não pode ser perfeitamente conhecido, a compensação não pode ser completa.

### 5.4.1 Fator de correção (Correction Factor)

É o fator numérico pelo qual o resultado não corrigido de uma medição é multiplicado para compensar um erro sistemático.

## 5.5 Repetitividade de resultados de medições (Repeatability of Results of Measurement)

É o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sob as mesmas condições de medição.

### Observação

Estas condições são denominadas condições de repetitividade.

Condições de repetitividade incluem:

- Mesmo procedimento de medição
- Mesmo observador
- Mesmo instrumento de medição utilizado nas mesmas condições
- Mesmo local
- Repetição em curto período de tempo.

Repetitividade pode ser expressa quantitativamente em função das características da dispersão dos resultados.

## 5.6 Calibração ou aferição (Calibration)

São o conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição, ou ainda valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

### A-Z

#### Repetitividade de um instrumento de medição (repeatability of measuring instrument)

Aptidão de um instrumento de medição em fornecer indicações muito próximas em repetidas aplicações do mesmo mensurando, sob as mesmas condições de medição.



Pesquise sobre calibração, acessando:  
<http://www.grupocalibracao.com.br>

### **Observação**

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações como a determinação das correções a serem aplicadas.

Uma calibração pode também determinar outras propriedades metrológicas com o efeito das grandezas de influência.

O resultado de uma calibração pode ser registrado em um documento denominado certificado de calibração.

## **5.7 Sensibilidade (*Sensitivity*)**

É a variação da resposta de um instrumento de medição dividida pela correspondente variação do estímulo.

### **Observação**

A sensibilidade pode depender do valor do estímulo.

### **Exemplos**

Um termômetro de vidro com faixa de medida de 0°C a 100°C possui uma escala de leitura de 20 cm, portanto a sua sensibilidade é de 0,2 cm/°C.

## **5.8 Histerese ou hysteresis (h)**

É a diferença entre leitura/medida (L/M) para um dado valor da grandeza medida, quando ela foi atingida por valores crescentes e decrescentes da grandeza medida.

A histerese é um fenômeno bastante típico em sistemas de medição mecânicos devido a folgas e deformações associadas ao atrito.

## **5.9 Exatidão de medição (*Accuracy of Measurement*)**

É o grau de concordância entre o resultado de uma medição e um valor verdadeiro do mensurando.

### **Observação**

Exatidão é um conceito qualitativo. O termo precisão não deve ser utilizado como exatidão.

## 5.10 Exatidão de um instrumento de medição (*Accuracy of a Measuring Instrument*)

É a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro.

### Observação

Exatidão é um conceito qualitativo.

## 5.11 Classe de exatidão (*Accuracy Class*)

É a classe de instrumentos de medição que satisfazem a certas exigências metrológicas destinadas a conservar os erros dentro de limites especificados.

### Observação

Uma classe de exatidão é usualmente indicada por um número ou símbolo adotado por convenção e denominado índice de classe.

## 5.12 Ajuste de um instrumento de medição (*Adjustment of a Measuring Instrument*)

É a operação destinada a fazer com que um instrumento de medição tenha desempenho compatível com o seu uso.

### Observação

O ajuste pode ser automático, semiautomático ou manual. É o ponto no qual o controlador é ajustado para controlar o processo.

## 5.13 Repetitividade (*Repeatability*)

É a capacidade de reprodução da indicação ou transmissão ao se medir, repetidamente, valores idênticos da variável medida, nas mesmas condições de operação e no mesmo sentido de variação. A repetitividade geralmente é expressa em porcentagem do alcance (*span*).

## Resumo

Nesta aula apresentamos os processos de medição. Naturalmente, as aulas seguintes serão fundamentais para o domínio do processo de automação.



## Atividades de aprendizagem

1. Qual o conceito de erro de medição?
2. Ao medir uma barra de aço com uma trena comum, foi encontrada a dimensão de dois metros. Podemos afirmar que este é um valor verdadeiro do comprimento? Justifique.
3. Durante um processo de medição, encontramos diferentes valores para o comprimento de uma peça. Afirmamos que isso é um erro. As causas dos erros podem ser completamente determinadas? Explique por que.
4. Qual é o conceito de correção (de um erro)?
5. Como podemos compensar um erro sistemático?
6. A repetitividade (de resultados de medição) representa o grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando efetuadas sobre as mesmas condições. Quais são essas condições de repetitividade?
7. O conjunto de operações que estabelece, sob condições especiais, a relação entre os valores indicados por um instrumento de medição, ou valores representados por uma medida materializada, ou um material referencia e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões, é denominado\_\_\_\_\_.
8. Qual é a diferença entre sensibilidade e histerese de um instrumento de medida?
9. Observando o conceito de classe de exatidão de um instrumento, é possível concluir que deveríamos ter nas empresas somente instrumentos de alto índice de classe? Analise diversos fatores de resposta.
10. Qual o *set point* mais provável do termostato de um congelador doméstico?
  - a) 100°C
  - b) 70°C
  - c) 10°C
  - d) -5°C

# Aula 6 – Classes dos instrumentos

## Objetivos

Conhecer as diversas apresentações de instrumentos.

Compreender as técnicas de seleção de instrumentos, quanto à sua apresentação (aspectos externos).

Identificar os instrumentos de medição através de codificação normalizada e sua descrição.

## 6.1 Classificações dos instrumentos

Os tipos de instrumentos nos auxiliam a definir as necessidades do processo, a participação ou não da visão humana, a necessidade de registrar dados e outras necessidades.

Podem ser classificados como: cegos, indicadores, registradores, primários, transmissores e conversores.

### 6.1.1 Instrumentos cegos

São instrumentos que não possuem indicação visível da variável medida, como os pressostatos e termostatos (elementos de controle de pressão e temperatura) que somente possuem uma escala externa com um índice de seleção para ajuste do *set-point* (ponto de atuação). Os transmissores de pressão, vazão, nível e outros sem indicação local são igualmente denominados de instrumentos cegos. O **pressostato** representado na Figura 6.1 é um instrumento cego, pois não apresenta *display* (mostrador) e exige para o ajuste do ponto de operação um instrumento auxiliar.

O ajuste de um instrumento cego é realizado em bancada, através de comparação com outros instrumentos indicadores.



Pesquise mais sobre pressostato em:  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Pressostato>  
[http://www.margirius.com.br/info\\_pressos.aspx](http://www.margirius.com.br/info_pressos.aspx)





**Figura 6.1: Pressostato**

Fonte: CTISM

### **6.1.2 Instrumentos indicadores**

São os instrumentos que possuem indicador e escala graduados, nos quais pode ser verificado, através da leitura, o valor da variável medida ou controlada. O instrumento indicador pode possuir uma, duas ou mais escalas diferentes, conforme as necessidades do processo.

#### **Exemplos**

Termômetros, manômetros, velocímetros e odômetros (Figura 6.2), entre outros.



**Figura 6.2: Velocímetro e odômetro de uma motocicleta**

Fonte: <http://www.sxc.hu>

### 6.1.3 Instrumentos registradores

São instrumentos que registram a variável medida/controlada com um ou mais traços contínuos ou através de pontos. Os registros podem ser realizados em discos ou fitas de papel e através de displays eletrônicos (Figura 6.3). Um dos registradores mais conhecidos é o tacógrafo que registra as variações de velocidade de veículos em um disco de papel, com um escala de tempo.



**Figura 6.3: Registrador gráfico circular**

Fonte: CTISM



Os registradores são utilizados quando é necessário consultar todos os dados de uma ou mais grandezas medidas. No tacógrafo são registradas a velocidade, o tempo de permanência nesta velocidade, assim como a hora e o dia destas ocorrências em um veículo. Destes dados são obtidos ainda:

- A velocidade;
- As paradas normais;
- As paradas bruscas.

### 6.1.4 Elementos primários

São elementos que estão em contato direto com a variável medida/controlada e que utilizam ou absorvem energia do próprio meio, para fornecer ao sistema de medição uma resposta em função da variação da variável medida ou controlada. Podem ser cegos ou indicadores.

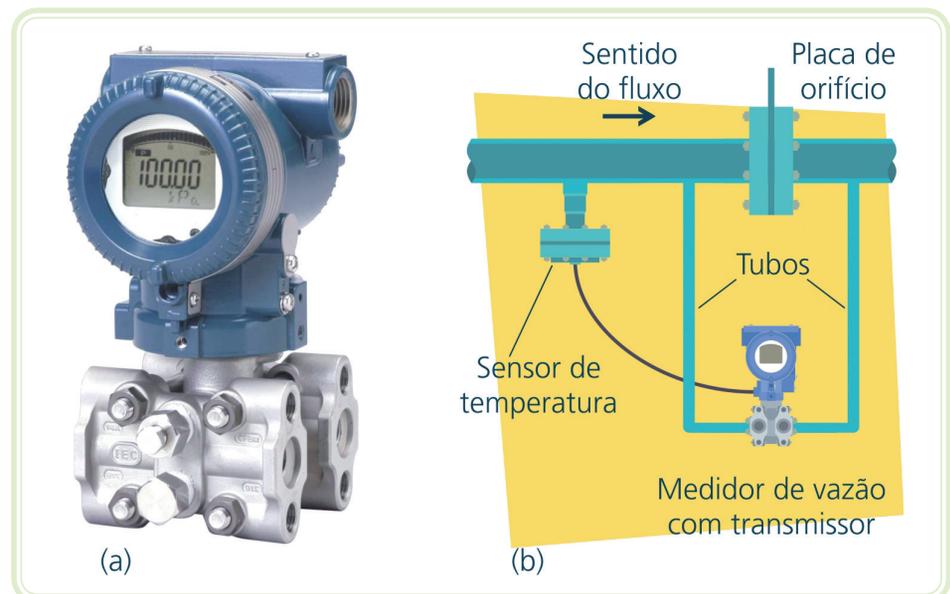
### 6.1.5 Transmissores

São instrumentos que detectam as variações da variável medida/controlada através do elemento primário e transmitem-na a distância. O elemento primário pode ou não fazer parte integrante do transmissor (Figura 6.4).

Veja mais sobre transmissores, acessando:

<http://www.nivetec.com.br>

<http://www.nivetec.com.br/htm/transpresusogeral.htm>



**Figura 6.4:** (a) Transmissor de pressão e (b) transmissor de pressão com compensação de temperatura

Fonte: (a) [www.yokogawa.com.br](http://www.yokogawa.com.br)

(b) CTISM

### 6.1.6 Conversores

São instrumentos que recebem um sinal de entrada pneumático ou eletrônico, procedente de outro instrumento, e convertem-no em um sinal de saída padrão, que pode ser de dois tipos: em corrente (4 a 20 mA, em corrente contínua) ou pressão (0,2 a 1,0 kgf/cm<sup>2</sup> ou 19,614 a 98,07 kPa).

## 6.2 Identificação e símbolos de instrumentos

As normas de instrumentação estabelecem símbolos gráficos e codificações para identificação alfanumérica de instrumentos ou funções programadas que deverão ser utilizadas nos diagramas e malhas de controle de projetos de instrumentação.

Os símbolos gráficos (ver Figura 6.5) e codificações estabelecidas pelas normas são utilizados para uniformizar a identificação de instrumentos e sistemas de instrumentação, facilitar o entendimento dos diagramas e malhas de instrumentação e uniformizar a comunicação entre usuários, fornecedores e projetistas.

A norma S 5.1, da ISA (*The Instrumentation, Systems and Automation Society*, antigamente denominada *Instrument Society of America*) é a simbologia/codificação mais utilizada na área de instrumentação e controle de processos padronizados. Toda norma deve fornecer informações suficientes para que, ao se examinar um documento, seja possível entendê-lo facilmente, sem que seja exigida a presença de um especialista.

A padronização **ISA** identifica cada instrumento ou função programada com um conjunto de letras e algarismos. A primeira letra do conjunto indica a variável medida/controlada, e as letras seguintes indicam a função que o instrumento desempenha na malha de controle. O primeiro conjunto de algarismos indica a área/unidade e o segundo conjunto indica a malha à qual o instrumento ou a função programada pertence. Ainda poderá receber um sufixo (Quadro 6.1).



Pesquise mais sobre simbologia ISA em:  
[www.si.ips.pt/ests\\_si/conteudos\\_service.conteudos\\_cont?pct\\_id=18462&pv\\_cod=08D1kaRIJauh](http://www.si.ips.pt/ests_si/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=18462&pv_cod=08D1kaRIJauh)

Conheça a ISA:  
<http://www.isa-es.org.br/>

**Quadro 6.1: Letras de identificação da instrumentação**

1º Grupo de Letras Variável Medida ou Inicial		2º Grupo de Letras Função		
1ª Letra	Modificadora	Informação ou Passiva	Ativa	Modificadora
A	analisador	alarme		
B	chama (de queima-dura)			
C	condutividade elétrica		controlador	
D	densidade ou massa específica ( <i>density</i> )	diferencial		
E	tensão elétrica		elemento primário-sensor	
F	vazão ( <i>flow</i> )	razão fração		
G	medida dimensional		visor	
H	comando manual ( <i>hand</i> )			alto
I	corrente elétrica		indicador	
J	potência	varredura ou seleção manual		
K	tempo	taxa de variação		estação de controle
L	nível		lâmpada	baixo
M	multivariável		multifunção	multifunção
N	livre escolha			
O	livre escolha		orifício	
P	pressão		conexão para ponto teste	
Q	quantidade ou evento	integrador ou totalizador		
R	radiação, radioatividade		registrador ou impressor	
S	velocidade ou frequência	segurança		chave
T	temperatura		transmissor	
U	unidade	instantâneo		média
V	viscosidade		válvula	
W	peso ou força		ponto de prova ou poço	
X	não classificado	eixo dos X	não classificado	não classificado
Y	estado, presença ou sequência de eventos	eixo dos Y	relé, conversor, solenóide	
Z	posição ou dimensão	eixo dos Z	acionador, atuador não classificado	

### Exemplo

#### a) TRC - 210 - 02A

- T variável medida: Temperatura
- R função passiva: Registrador
- C função ativa: Controlador
- 210 área da fábrica onde o instrumento atua
- 02 número da malha de controle
- A sufixo

O instrumento classificado como TRC é, portanto, um registrador e controlador de temperatura.



	Instrumentos discretos	Instrumentos compartilhados	Computador de processo	Controlador programável
Localção principal acessível ao operador				
Montado no campo				
Localção auxiliar acessível ao operador				
Localção auxiliar não acessível ao operador				

**Figura 6.5: Símbolos gerais para instrumentos ou função programada**

Fonte: CTISM

A Figura 6.5 representa como os instrumentos e componentes do processo são localizados e a sua configuração. Podemos exemplificar: Um termômetro poderá ser localizado “no campo”, ou seja, não estará em uma sala, e poderá ser ou não acessível ao operador. A aplicação desses símbolos juntamente com os da Figura 6.7 e outros formarão os fluxogramas representados na Figura 6.8.

Os símbolos e funções de processamento de sinais, Figura 6.6, são utilizados nos fluxogramas de processo. Eles representam a necessidade de operações matemáticas, como a soma de variáveis ou a necessidade de converter um sinal elétrico em pneumático.

Símbolo	Função	Símbolo	Função
$\Sigma$ ou +	Soma	$\times$	Multiplificação
$\Sigma / M$	Média	$\div$	Divisão
$\Delta$ ou -	Subtração	$\sqrt{\quad}$	Extração de raiz quadrada
K ou P	Proporção	$\sqrt[R]{\quad}$	Extração de raiz
$\int$ ou I	Integral	$x^n$	Exponenciação
$\frac{d}{dt}$ ou D	Derivativo	f(x)	Função não linear
>	Seletor de sinal alto	$\nabla$	Limite superior
<	Seletor de sinal baixo	$\nless$	Limite inferior
$\pm$	Polarização	$\nabla \nless$	Limitador de sinal
f(t)	Função tempo	$\nless$	Conversão de sinal

**Figura 6.6: Símbolos e funções de processamento de sinais**

Fonte: CTISM

Símbolos para linhas de instrumentos ou função programada, conforme pode ser observado e identificado na Figura 6.8. As linhas representam a interligação e comunicação entre os diversos elementos do fluxograma que, por sua vez, representam uma indústria qualquer.

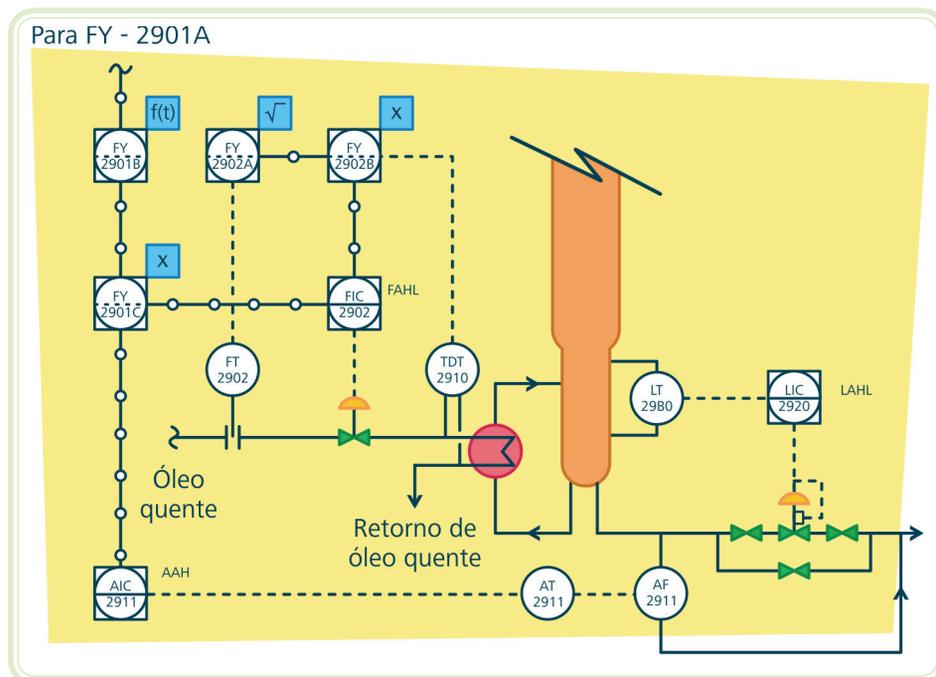
Para compreender como serão ligados os instrumentos, será necessário ter em mãos o fluxograma e a planta da fábrica. Na planta, poderemos verificar as distâncias reais a serem percorridas pelos sinais e como serão levados os sinais de instrumento até uma válvula de controle.

Símbolo	Função	Símbolo	Função
————	Suprimento	⌘⌘⌘	Sinal binário pneumático
—/—/—/—	Sinal não definido	-----	Sinal elétrico
≡≡≡≡	Sinal pneumático	≡≡≡≡	Tubo capilar
⊥⊥⊥⊥	Sinal hidráulico	~ ~ ~	Sinal eletromagnético ou sônico (transmissão não guiada)
~ ~ ~ ~	Sinal eletromagnético ou sônico (transmissão guiada)	⊖⊖⊖	Ligação mecânica
○—○—○—○	Ligação configurada internamente ao sistema (ligação por <i>software</i> )	-----	Sinal binário elétrico
●—●—●—●	Sinal <i>fieldbus</i>		

**Figura 6.7: Símbolos para linhas de instrumentos ou função programada**

Fonte: CTISM

Todos esses símbolos são utilizados em fluxogramas como o representado na Figura 6.8. Dessa maneira descomplicada, podemos representar através de símbolos padronizados o que desejamos.



**Figura 6.8: Exemplo de simbologia**

Fonte: CTISM

Esta é a função do projetista do processo, aquele especialista que irá demonstrar em um documento (físico ou eletrônico) o que é desejado. Logo após, o projetista de instrumentação irá analisar (com o projetista de processo) as necessidades de medição e controle e implementará a instrumentação ao fluxograma de processo, passando a especificar a instrumentação desejada. Isso compreende:

- As grandezas a serem medidas (temperatura, pressão, nível, vazão, etc.);
- Como será medida a grandeza;
- As unidades de medição de cada grandeza;
- Os tipos de instrumentos;
- O material de construção do instrumento.

## Resumo

Nesta aula tratamos da classificação dos instrumentos e a elaboração dos fluxogramas, que são elementos básicos para a compreensão dos sistemas de automação. Esses itens estão intimamente ligados ao processo a ser automatizado.



## Atividades de aprendizagem

1. Quais as diferenças entre um instrumento cego e um instrumento indicador?
2. Dê um exemplo de instrumento cego.
3. Dê um exemplo de instrumento indicador.
4. Qual a finalidade de um instrumento indicador?
5. Descreva as classificações possíveis de um termostato de um refrigerador comum.
6. Por que utilizamos transmissores na instrumentação de uma máquina ou indústria?

7. Qual a finalidade dos conversores utilizados na instrumentação?
8. Qual a finalidade da simbologia gráfica nos projetos de instrumentação?
9. Conforme a ISA, qual a variável medida pelas letras mencionadas?

C \_\_\_\_\_ K \_\_\_\_\_

J \_\_\_\_\_ L \_\_\_\_\_

10. Usando as referências da simbologia ISA, identifique os instrumentos citados a seguir:

a) LIC-210-02

L \_\_\_\_\_ C \_\_\_\_\_

I \_\_\_\_\_

Descrição completa do instrumento:

\_\_\_\_\_

b) TE-110-01B

T \_\_\_\_\_ E \_\_\_\_\_

Descrição completa do instrumento:

\_\_\_\_\_

c) FT-110-03

F \_\_\_\_\_ T \_\_\_\_\_

Descrição completa do instrumento:

\_\_\_\_\_



# Aula 7 – Sistemas de controle

## Objetivos

Conhecer válvulas de controle e as suas aplicações.

Compreender a importância das válvulas de controle em uma unidade de processamento industrial.

Identificar aplicações das válvulas de controle em circuitos de processamento industrial.

## 7.1 Controladores

São instrumentos que possuem um sinal de saída que pode ter o valor da sua grandeza modificado, para manter a variável de processo (temperatura) dentro do *set-point* (valor estabelecido), ou para alterá-la para um valor previamente determinado. Pode ser dividido em:

**Controladores analógicos** – possuem construção de tecnologia analógica.

**Controladores digitais** – possuem construção de tecnologia digital.



**Figura 7.1: Válvula de controle de pistão**

Fonte: www.eibis.com



Pesquise mais sobre válvula de controle, acessando:  
<http://www.inave.com.br/control.pdf>

[http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/product\\_fliers/d102471x4p2.pdf](http://www.documentation.emersonprocess.com/groups/public/documents/product_fliers/d102471x4p2.pdf)

### **7.1.1 Elementos finais de controle**

São equipamentos que recebem o sinal de correção do controlador e, em função desse sinal, modificam/atuam sobre a variável manipulada ou agente de controle (válvula de controle, veja Figura 7.2).

O sinal é gerado pelo instrumento apropriado para medir a grandeza desejada.



**Figura 7.2: Válvula de controle instalada: (a) atuador pneumático; (b) elemento obturador; (c) transmissor; (d) sensor e (e) ar comprimido**  
 Fonte: [www.emersonprocess.com](http://www.emersonprocess.com)



**Figura 7.3: Válvula de controle com atuador instalado**  
 Fonte: [www.eibis.com](http://www.eibis.com)

### 7.1.2 Natureza lógica dos sistemas de controle

Os controles podem ser simples ou complexos, conforme as exigências deste processo. Podemos citar a necessidade de controle de encher um reservatório de água. Abre-se a entrada de água. Quando o reservatório estiver cheio basta fechar a entrada de água; portanto, é um controle simples.

Em um processo contínuo de aquecimento de água (lembre-se do seu chuveiro), se variar a pressão da rede de água, irá variar a quantidade de água e, se não houver variação da potência continuamente, conforme varia a quantidade de água, a temperatura de saída irá variar. Este é um sistema complexo, pois seremos obrigados a considerar a quantidade de água e a potência do chuveiro para termos temperatura constante na água de saída.

Aos diversos tipos de controle de processos damos o nome de malha de controle. Há dois tipos: malha aberta e fechada.

**Malha aberta** – não considera as variações que podem ocorrer no processo.

Programa temporal (exemplo: partida estrela/triângulo de um motor elétrico).

Programa sequencial (fechamento da malha por operador humano).

#### Exemplo

Aquecimento de água através de um chuveiro ou torneira elétrica.

**Malha fechada** – determina o valor do erro e opera para reduzi-lo a zero, da melhor forma possível, através de:

- *Feedback*/realimentação.
- *Feedforward*/antecipação.

#### Exemplo

Aquecimento de água com temperatura constante a vapor.

### 7.1.3 Natureza física dos sistemas de controle

A atuação das válvulas de controle pode ser através de:

Controle mecânico, pneumático, elétrico, analógico, digital e hidráulico.

## 7.2 Instrumentação de controle de processos

Os sinais analógicos padronizados nos componentes dos sistemas de controle (válvulas de controle, sensores e controladores) podem ser:

Pneumáticos – 3 a 15 psing

Elétricos – 4 a 20 mA, 1 a 5V e 0 a 10V

Os sistemas de controle evoluíram desde os controles manuais, nos quais a verificação, comparação e decisão eram, e ainda são, tomadas pelo operador. O método obriga a verificação contínua do(s) instrumento(s) e a manipulação do atuador, buscando manter a variável dentro dos limites exigidos para o processo.

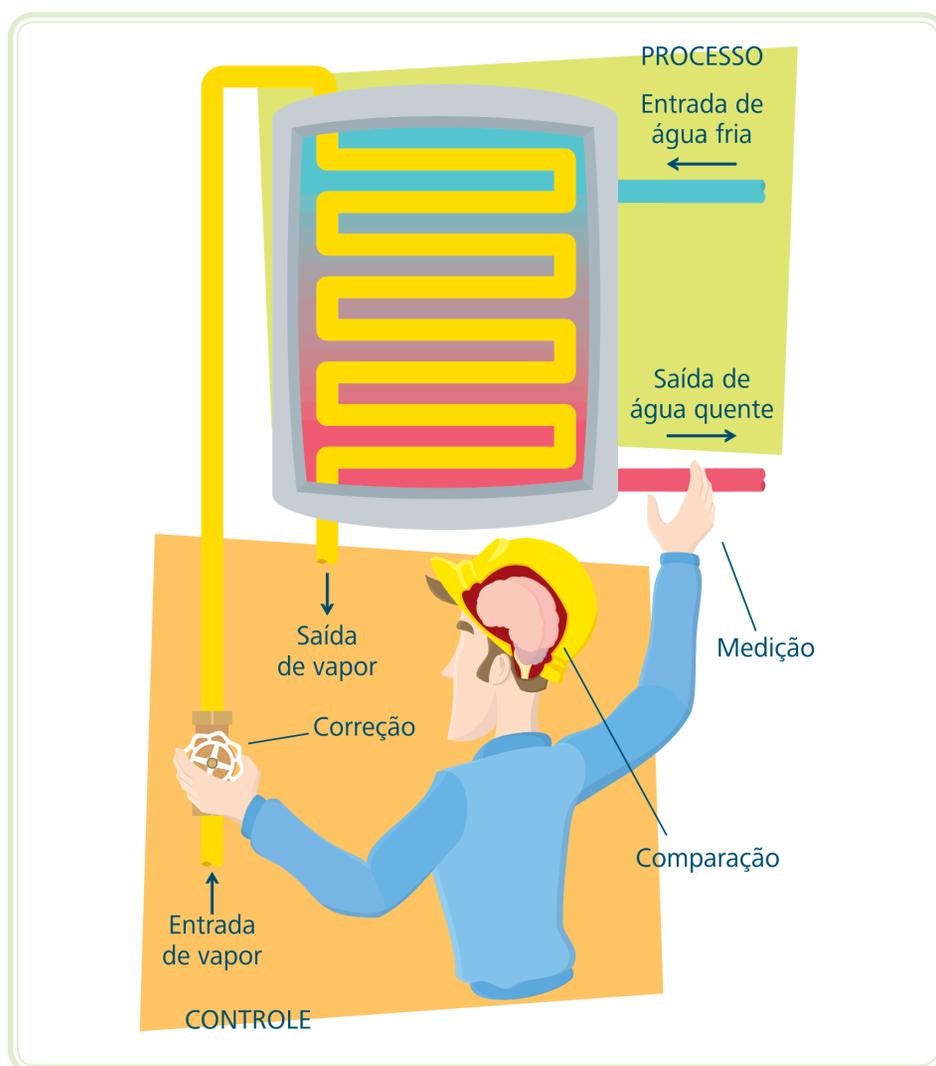
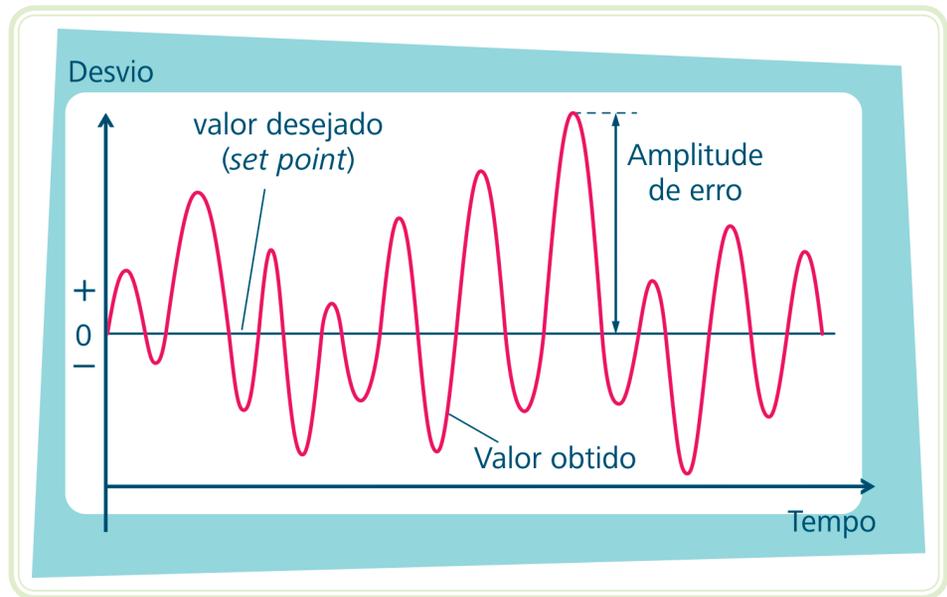


Figura 7.4: Controle manual de processos

Fonte: CTISM

O controle de processos manual, conforme a Figura 7.4, não é eficiente, pois além da possibilidade de falta de atenção do operador, é difícil (para humanos) prever as oscilações do processo, resultando em grandes amplitudes de variação, conforme mostra a Figura 7.5.



**Figura 7.5: Oscilações**

Figura: CTISM



O gráfico da Figura 7.5 poderia representar a temperatura proporcionada por um chuveiro. O ponto “0” é a temperatura desejada e, a curva representa a temperatura obtida ao longo do tempo. Esta variação pode ocorrer devido à:

- Variação da temperatura de água;
- Variação da vazão (quantidade de água);
- Variação da tensão elétrica.

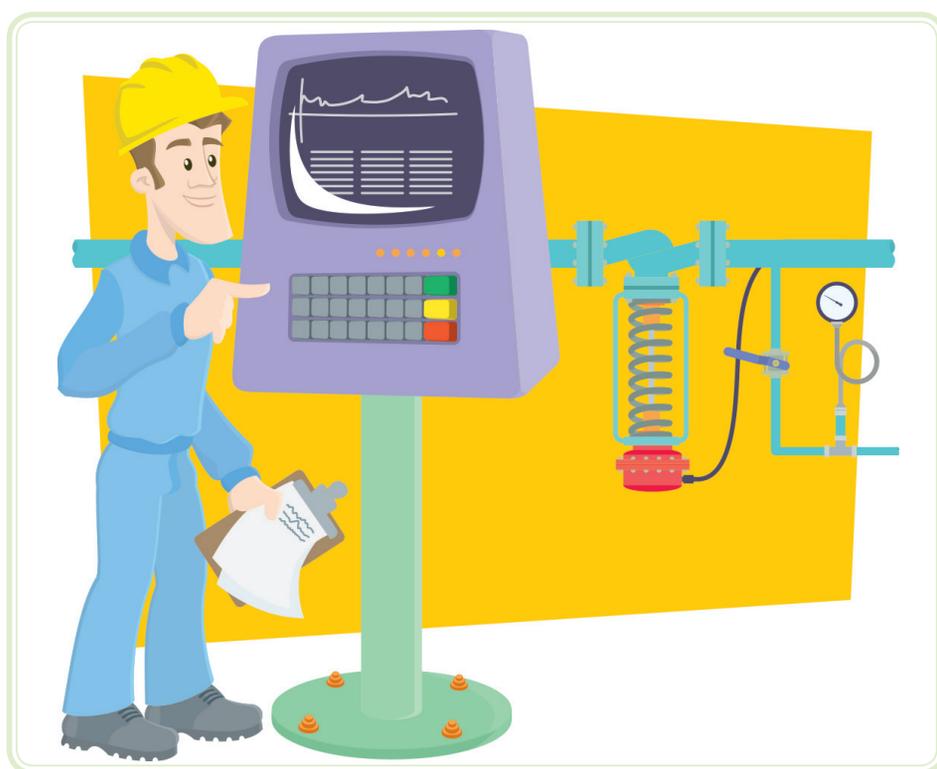
A necessidade de otimizar os processos obrigou a busca dos processos de automatização dos controles, o que gerou uma ciência denominada “Instrumentação” com os objetivos de desenvolver e aplicar técnicas para medição, indicação, registro e controle do processo, visando a sua otimização.

Estes sistemas de controle utilizam equipamentos que realizavam a medição do valor da variável e transmitem uma informação referente a ele a um dispo-

sitivo controlador que, por sua vez, efetua comparações entre esse valor e um valor de referência, emitindo um comando de correção, quando necessário.

Este comando de correção é transmitido por um meio de comunicação até um atuador, o qual se responsabiliza pela ação de correção da variável, forçando-a a se aproximar do valor de referência.

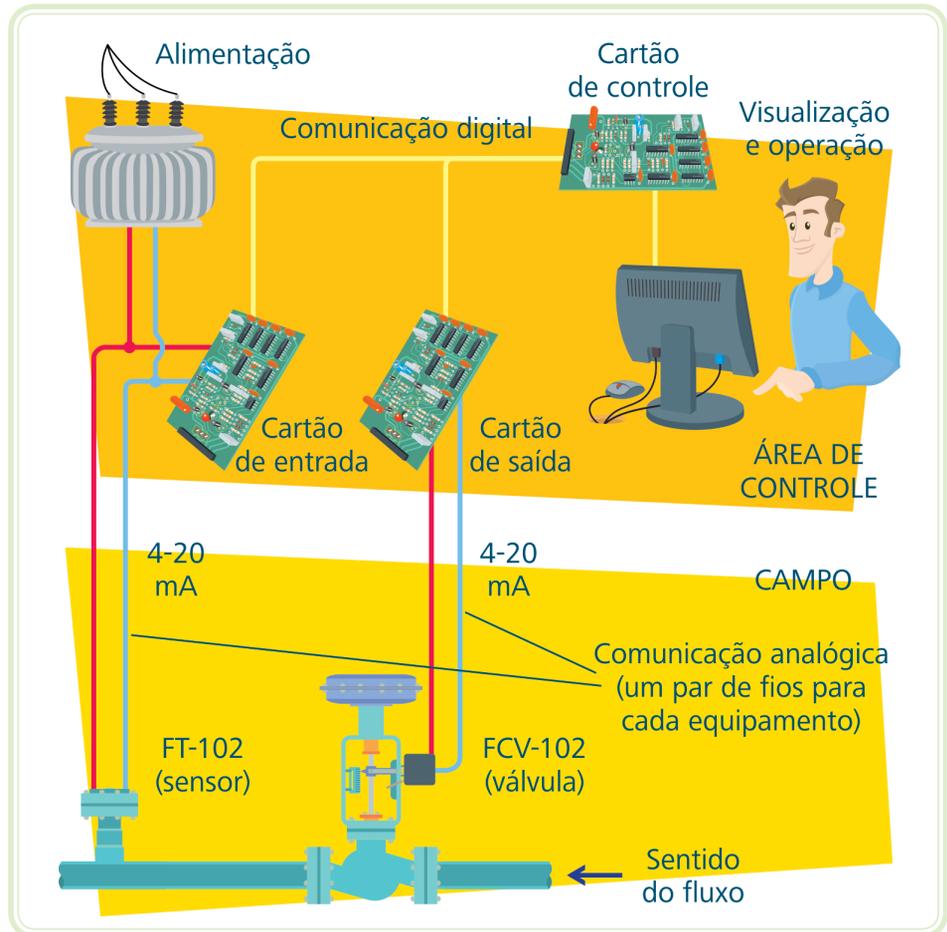
Nos primeiros sistemas de controle (Figura 7.6), o sensor, o controlador e o atuador formavam um conjunto compacto, porém exigiam a presença do operador no campo (zona de operação) para verificar os parâmetros, resultando no inconveniente de que as informações ficavam dispersas.



**Figura 7.6: Primeiros sistemas de controle**

Fonte: CTISM

Os sistemas atuais poderão ser quaisquer um deles, desde os mais simples, com controle pessoal, até os mais complexos sistemas com controle totalmente automático, através de diversos sistemas de sensoriamento, controle e atuação, conforme a Figura 7.7.



**Figura 7.7: Sistema de controle complexo, que envolve um controle eletrônico via SDCD**  
 Fonte: CTISM

### 7.3 Válvulas de controle

As válvulas de controle podem ser de diversos tipos de obturadores, tamanhos e sistemas de ligação, conforme aplicação, sendo utilizadas para controlar fluidos em uma indústria de processamento.

### 7.4 Tipos de válvulas de controle

Os tipos de válvulas de controle estão relacionados com a tecnologia, pressão, capacidade no seu uso, além de outros fatores.

Para as pequenas capacidades, as válvulas-agulha são bastante utilizadas, devido ao tipo de obturador que proporciona essas vazões de alguns litros por hora. Para as grandes, que podem ultrapassar 1 milhão de litros por hora, são utilizadas as válvulas com obturador tipo borboleta.

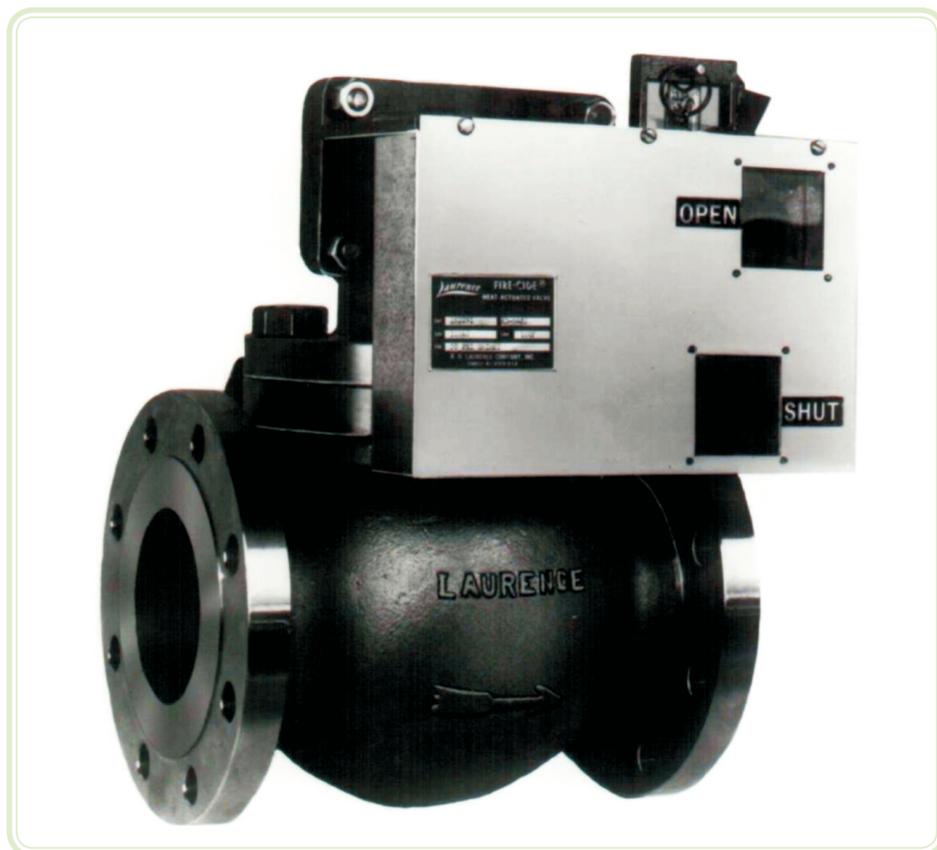
As válvulas de controle mais utilizadas são as do tipo 2 **vias**, ou seja, aquelas que possuem uma entrada e uma saída.

Também encontramos válvulas com três ou mais vias. As válvulas com três vias são utilizadas para desviar os líquidos de um sistema para outro, não simplesmente para abrir ou fechar a saída dos líquidos.

**A-Z**

**vias**

É a designação que as válvulas recebem para os orifícios.



**Figura 7.8: Válvula globo**

Fonte: <http://www.news.thomasnet.com>

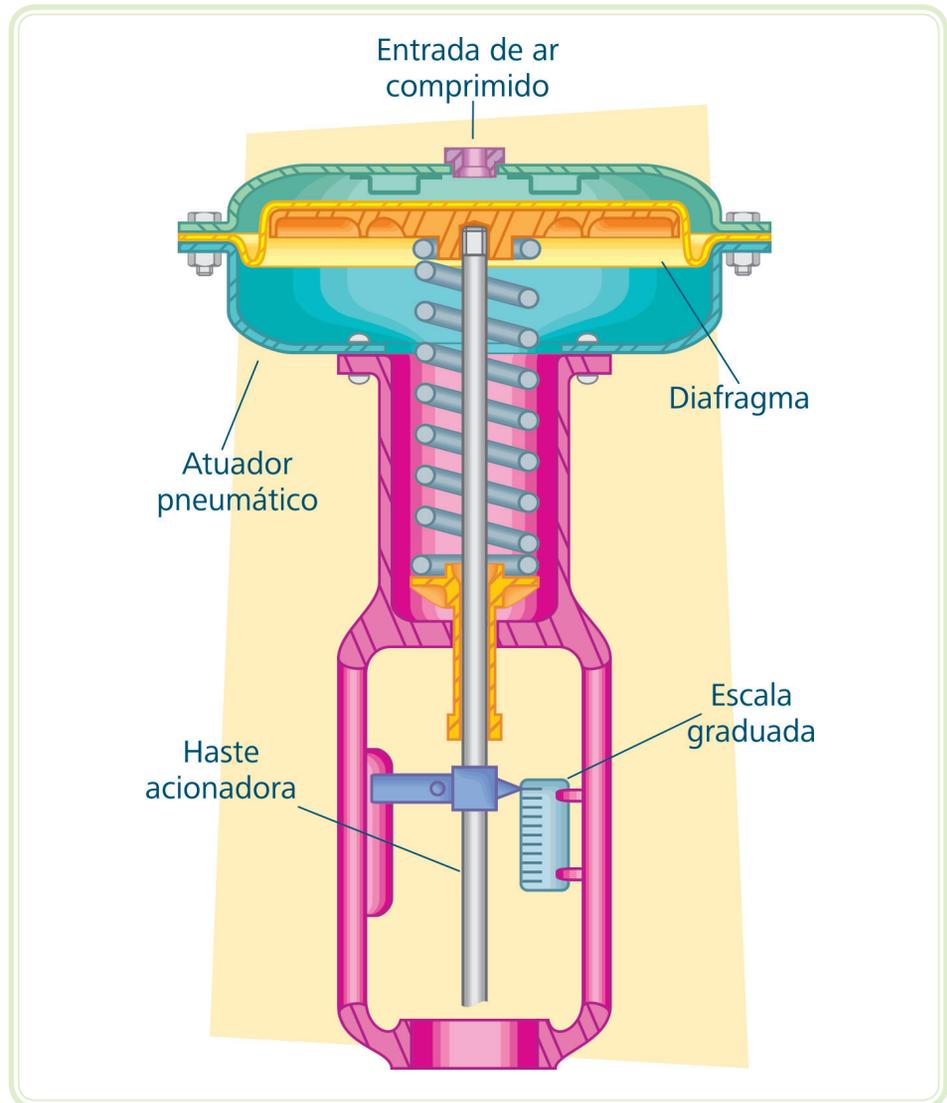
As válvulas de controle são compostas por:

Obturador, controlador e atuador.

Como foi descrito anteriormente, os atuadores das válvulas de controle poderão ser: mecânico, pneumático, elétrico, analógico, digital e hidráulico; os atuadores pneumáticos são os mais utilizados.

Os atuadores pneumáticos podem ser dos tipos: dupla ação (quando movimenta o atuador para abrir e fechar com dois sinais de ar comprimido), normalmente aberto (ar comprimido fecha o atuador e uma mola abre) e normalmente fechado (ar comprimido abre o atuador e uma mola fecha), veja a Figura 7.9.

A escolha do atuador NF ou NA (normalmente fechada ou normalmente aberta) vai depender da melhor opção no caso de falha do controle, ou seja, a válvula irá fechar ou abrir.



**Figura 7.9: Atuador pneumático normalmente fechado**

Fonte: CTISM



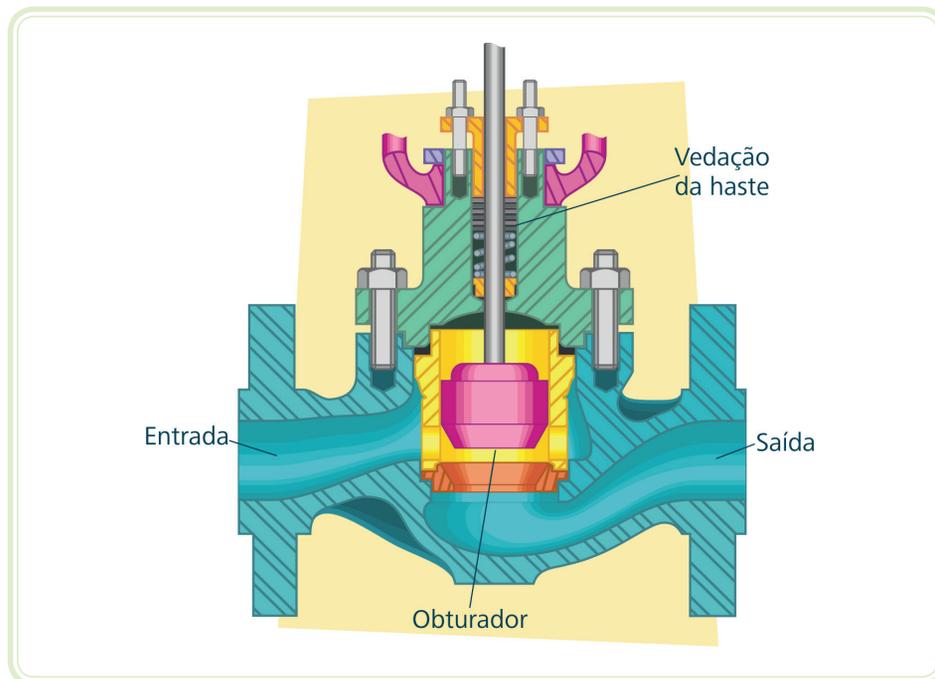
- Uma válvula NA ou NF é assim designada, quando esta é executada por um elemento mecânico (por exemplo, molas), quando uma força contrária (força humana, elétrica, hidráulica, etc.) é interrompida.

- Não confundir como “normalmente” encontramos uma válvula.
- A posição NA ou NF é forçada.

### 7.4.1 Válvula de controle tipo globo

São robustas, utilizadas para todas as classes de pressão e materiais. Podem ser de construção reta ou angular (90°).

Podem ser com extremidades soldadas ou flangeadas, com diversos tipos de atuadores, vedações e bitolas.



**Figura 7.10: Válvula tipo globo**

Fnte: CTISM

O modelo da válvula e o desenho do obturador alteram as características de fluxo e turbulência do líquido.

As variações da velocidade são importantes em alguns processos, como pode ser visto na Figura 7.11, onde são encontradas diversas velocidades na passagem do líquido por uma válvula tipo globo.

A válvula tipo agulha é uma variação da válvula-globo.

Os obturadores ou retentores podem ser alterados para atender a diversas aplicações, como no exemplo da *Fischer Rosemoud*.

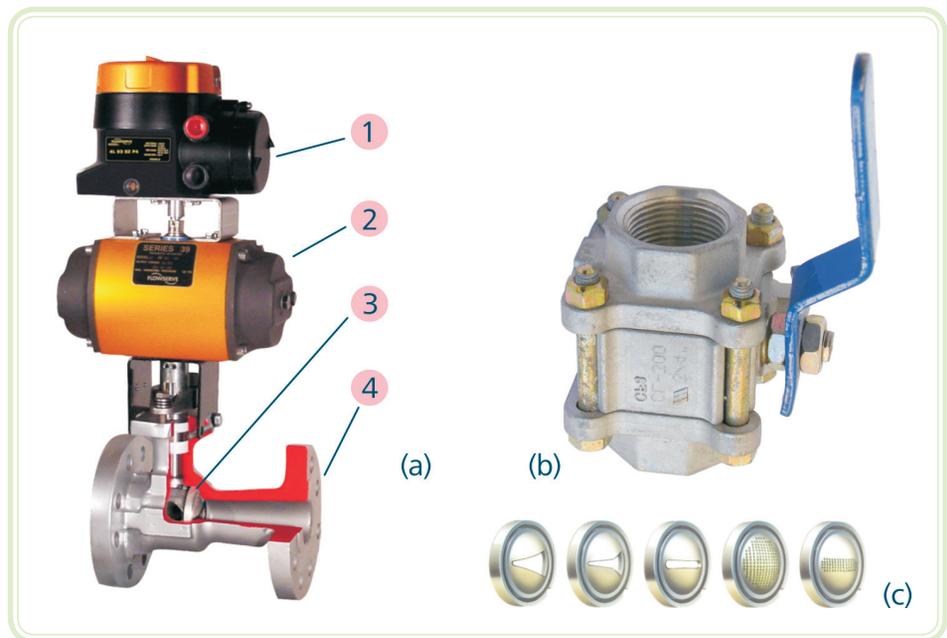


**Figura 7.11: Retentores de válvula-globo: (a) retentor com abertura rápida; (b) retentor de igual percentagem; (c) retentor linear e (d) retentor para redução de ruídos**

Fonte: Fisher Rosemount do Brasil

### 7.4.2 Válvula de controle tipo esfera

Recebem este nome, devido ao fato de que o seu obturador é uma esfera com uma passagem central (uma bola com um furo no centro). Estas válvulas trabalham em sistemas abertos ou fechados, operadas por atuadores pneumáticos ou outros. As válvulas-esfera, quando operam com válvulas de controle, podem receber obturadores com desenho especial.



**Figura 7.12: (a) Válvula-esfera (em corte) com atuador pneumático, onde: 1 – sensor de posição; 2 – atuador; 3 – obturador; 4 – válvula; (b) válvula-esfera com atuador muscular (manual) e (c) obturadores aplicados em válvulas-esfera**

Fontes: (a) e (c) <http://www2.flowserve.com>

(b) CTISM

O sensor de posição instalado em válvulas de controle indica ao sistema de processamento a condição operacional da válvula (aberta, fechada ou o percentual de abertura).



Figura 7.13: O obturador da válvula-esfera

Fonte: CTISM

### 7.4.3 Válvula de controle tipo borboleta

São válvulas indicadas para grandes vazões. Operam como um disco inserido na tubulação.

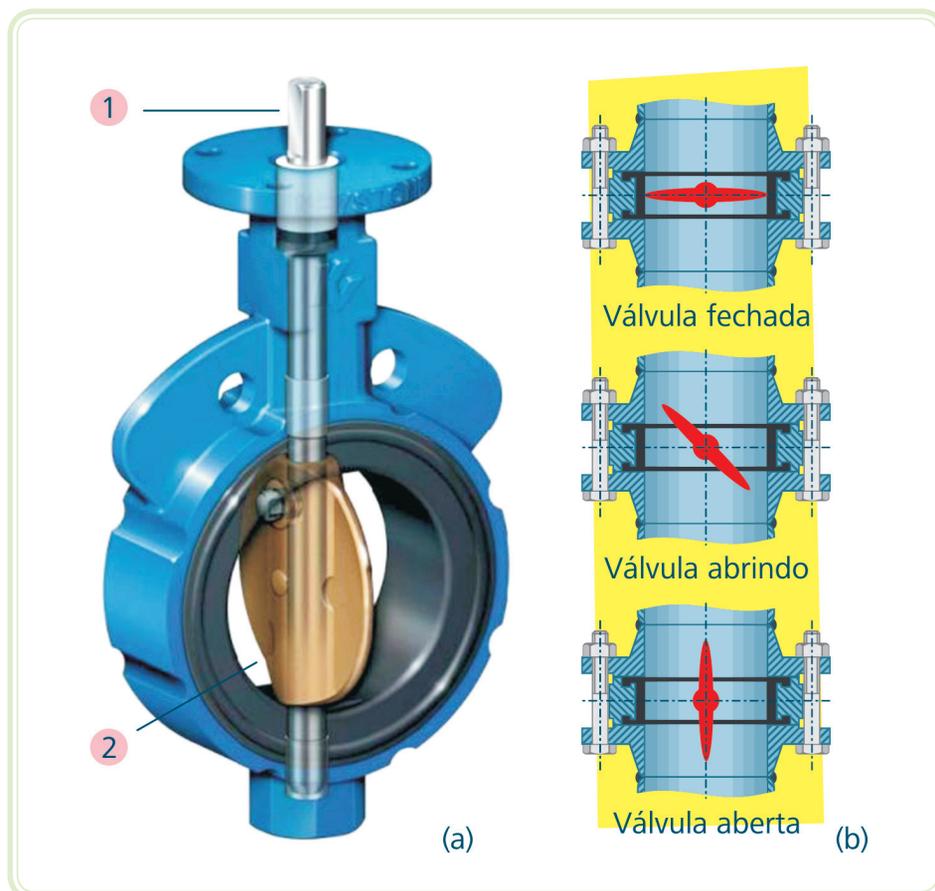


Figura 7.14: (a) Válvula de controle tipo borboleta, onde: 1 – haste; 2 – obturador e (b) esquema da válvula tipo borboleta, com o movimento do obturador

Fonte: (a) <http://www.wservices.srv.br>

## Resumo

Nesta aula iniciamos o processo de compreensão de um dos ramos da automação, a indústria de processamento que envolve fluidos como as químicas, refinarias, óleos vegetais e outras. Vimos a necessidade de um controle do processo e algumas possibilidades de controle, como a da válvula de controle e algumas de suas variações.



## Atividades de aprendizagem

1. O que são controladores?
2. O que são instrumentos finais de controle?
3. Descreva o que é um controle de malha aberta.
4. "A atuação das válvulas de controle podem ser através de:". Cite quatro tipos de atuadores.
5. Qual a faixa de atuação dos sinais pneumáticos utilizados em válvulas de controle?
6. Cite algumas dificuldades encontradas no controle de processo manual.
7. Quais as características dos primeiros sistemas automáticos de controle de processos?
8. Qual o tipo de válvula de controle utilizada para desviar um fluido da rede principal?
9. Quais as partes de uma válvula de controle?
10. Em uma válvula de controle, quais as opções de posicionamento pneumático?

a) \_\_\_\_\_

b) \_\_\_\_\_

c) \_\_\_\_\_

# Aula 8 – Válvulas de controle

## Objetivos

Caracterizar as válvulas de controle e seus fundamentos de seleção.

Compreender a importância da correta especificação de variáveis para o dimensionamento das válvulas de controle.

Identificar as limitações para a instalação correta de uma válvula de controle.

## 8.1 Aplicação de válvulas de controle

As válvulas de controle são utilizadas nas indústrias de processamento para controlar, bloquear e dosar os fluidos envolvidos nos processos. As funções da válvula de controle são:

- Conter o fluido do processo, suportando todos os rigores das condições de operação. Como o fluido do processo passa dentro da válvula, ela deve ter característica mecânica e químicas para resistir a pressão, à temperatura, à corrosão, à erosão, à sujeira e aos contaminantes do fluido.
- Responder ao sinal de atuação do controlador. O sinal padrão é aplicado ao atuador da válvula, convertendo-o em uma força que movimenta a haste cuja extremidade inferior está o obturador, que varia a área de passagem do fluido pela válvula.
- Variar a área de passagem do fluido manipulado. A válvula de controle manipula a vazão do meio de controle pela alteração de sua abertura.
- Absorver a queda variável de pressão da linha. Em todo o processo, a válvula é o único equipamento que pode fornecer ou absorver queda de pressão controlável.



O fluido de processo pode ser um ácido forte (que corrói a maioria dos metais), produtos petroquímicos que operam a altas temperaturas (+800°C) e altas pressões (que podem ultrapassar 1000 Bar).

Depois de instalada na tubulação, e, para poder desempenhar todas as funções requeridas, a válvula de controle deve ter corpo, atuador e castelo. Adicionalmente, ela pode ter acessórios opcionais que facilitam e otimizam o seu desempenho, como o posicionador, o *booster*, as chaves, os volantes, os transdutores para corrente elétrica ou para ar pneumático e relé de inversão.

## 8.2 Características da válvula

A característica da válvula de controle é definida como a relação entre a vazão através dela e a posição da haste, variando ambas de 0 a 100%. A vazão na válvula depende do sinal de saída do controlador que vai para o atuador.

Na definição da característica, admite-se que:

- O atuador é linear (o deslocamento da haste é proporcional à saída do controlador).
- A queda de pressão através da válvula é constante.
- O fluido do processo não está em **cavitação**, *flashing* ou na vazão sônica (*chokes*).



Pesquise mais sobre cavitação, acessando:  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/cavita%C3%A7%C3%A3o>

São definidas duas características da válvula: inerente e instalada. A característica inerente se refere à observada com uma queda de pressão constante através da válvula; é a característica de construção e fora do processo. A característica instalada se refere à característica da válvula em operação real, com uma queda de pressão variável e interagindo com as influências do processo, consideradas ou não no projeto.

Para se ter um controle eficiente e estável em todas as condições de operação do processo, a malha de controle deve ter um comportamento constante em toda a faixa. Isso significa que a malha completa do processo definido como a combinação sensor-transmissor-controlador-válvula-processo deve ter seu ganho e dinâmica o mais constante possível. Ter um comportamento constante significa ser linear.

Na prática, a maioria dos processos é não linear, fazendo a combinação sensor-transmissor não linear. Assim, deve-se ter o controlador não linear para ter o sistema total linear. Outra alternativa é a de escolher o “comportamento da válvula” não linear, para tornar linear a combinação sensor-transmissor-controlador-processo.

Se isso é feito corretamente, a nova combinação sensor-transmissor-processo-válvula se torna linear, ou com o ganho constante. O comportamento da válvula de controle é a sua “característica de vazão”.

## 8.3 Seleção, dimensionamento e especificação de válvulas de controle – exemplos práticos

O objetivo da caracterização da vazão é o de fornecer um ganho do processo total relativamente constante para a maioria das condições de operação do processo.

A característica quanto ao tipo de fluxo da válvula depende do seu tipo. Tipicamente os formatos do contorno do *plug* e da sede definem a característica. As três características quanto ao tipo de fluxo típicas são linear, igual percentagem e abertura rápida; outras menos usadas são hiperbólica, raiz quadrática e parabólica.

### 8.3.1 Escolha de características

A escolha das características da válvula e seu efeito no dimensionamento são fundamentais para se ter um bom controle, em larga faixa de operação do processo. A válvula com característica inerente linear parece ser a mais desejável, porém o objetivo do projetista é obter uma característica instalada linear.

O que se deseja realmente é ter a vazão através da válvula e de todos os equipamentos em série com ela variando linearmente com o deslocamento de sua abertura. Como a queda de pressão na válvula varia com a vazão (grande vazão, pequena queda de pressão) uma válvula não linear normalmente fornece uma relação de vazão linear após a instalação.

A escolha da característica correta da válvula para qualquer processo requer uma análise dinâmica detalhada de todo o processo. Há numerosos casos em que a escolha da característica da válvula não resulta em consequências sérias. Qualquer característica de válvula é aceitável quando:

- A constante de tempo do processo é pequena (processo rápido), como vazão, pressão de líquido e temperatura com misturadores.
- A banda proporcional ajustada do controlador é estreita (alto ganho).
- As variações de carga do processo são pequenas, menor que 2:1.

A válvula com característica linear é comumente usada em processo de nível de líquido e em outros processos nos quais a queda da pressão através da válvula é aproximadamente constante.

A válvula com característica de igual percentagem é a mais usada, geralmente, em aplicações com grandes variações da queda de pressão ou onde uma pequena percentagem da queda de pressão do sistema total ocorre através da válvula.

Quando se tem a medição da vazão com placa de orifício, cuja saída do transmissor é proporcional ao quadrado da vazão, deve-se usar uma válvula com característica de raiz quadrática (aproximadamente a de abertura rápida). A válvula com a característica de vazão de abertura rápida é tipicamente usada em serviço de controle liga-desliga, em que se deseja uma grande vazão, logo que a válvula comece a abrir.

As recomendações resumidas para a escolha da característica da válvula são:

- Abertura rápida, para controle de vazão com medição através de placa de orifício e com variação da queda de pressão na válvula pequena (menor que 2:1).
- Linear, para controle de vazão com medição através da placa de orifício e com variação da queda de pressão na válvula grande (maior que 2:1 e menor que 5:1).
- Linear para controle da vazão com sensor linear, nível de pressão do gás. Com variação de queda da pressão através da válvula menor que 2:1.
- Igual percentagem para controle de vazão linear,, nível de pressão de gás, com variação de queda de pressão através de válvula maior que 2:1 e menor que 5:1.

- Igual percentagem para controle de pressão de líquido, com qualquer variação da queda de pressão através da válvula.

Como há diferenças grandes entre as características inerentes e instaladas das válvulas e por causa da imprevisibilidade da característica instalada, deve-se preferir:

- Válvula cuja construção tenha uma propriedade intrínseca, como a borboleta e a de disco com abertura rápida.
- Válvula que seja caracterizada pelo projeto, como as com *plugs* lineares e de igual percentagem.
- Válvula de controle digital que possa ser caracterizada por *software*.

Em resumo, a característica da válvula de controle deve “casar” com a característica do processo. Esse “casamento” significa que os ganhos do processo e da válvula, combinados, resultem em um ganho total linear.

## 8.4 Dimensionamento da válvula de controle

### 8.4.1 Filosofia

O dimensionamento da válvula de controle é o procedimento para calcular o coeficiente de vazão ou o fator de capacidade da válvula ( $C_v$ ).

Este “método de  $C_v$ ” é bem aceito e foi introduzido pela Masoneilan, em 1944. Uma vez calculado o  $C_v$  da válvula e conhecido o tipo de válvula usada, o projetista pode obter o tamanho da válvula do catálogo do fabricante.

O coeficiente  $C_v$  é definido como o número de galões por minuto (gpm) de água que flui através da válvula totalmente aberta, quando há uma queda de pressão de 1 psi através da válvula, a 60°F.

Desse modo, quando se diz que a válvula tem o  $C_v$  igual a 10, significa que, quando a válvula está totalmente aberta e com a pressão da entrada maior que a da saída em 1 psi e a temperatura ambiente é de 15,6°C, sua abertura deixa passar uma vazão de 10 gpm. O  $C_v$  é basicamente um índice de capacidade, através do qual o engenheiro é capaz de estimar, de modo rápido e preciso, o tamanho de uma restrição necessária em qualquer sistema de fluido.



Pesquise mais sobre *Bernouille*, acessando:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_Bernoulli](http://pt.wikipedia.org/wiki/Equa%C3%A7%C3%A3o_de_Bernoulli)

<http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/hidrodinamica/hidrodin.html>

Mesmo que o método de Cv seja usado por todos os fabricantes, as equações para calcular o Cv diferem um pouco de fabricante para fabricante. A melhor política é usar a recomendação do fabricante da válvula escolhida. O dimensionamento correto da válvula é feito através de fórmulas teóricas, baseadas na equação de **Bernouille** e nos dados de vazão, ou através de ábacos, curvas, régua de cálculo específicas. Atualmente, a prática mais usada é o dimensionamento de válvula através de programas de computador pessoal.

O dimensionamento correto da válvula, determinado por fórmulas, régua de cálculo ou por programa de computador pessoal, sempre se baseia no conhecimento completo das condições reais da vazão. Frequentemente, uma ou várias dessas condições são assumidas arbitrariamente; é a avaliação desses dados arbitrários que realmente determinam o tamanho final da válvula. Nenhuma fórmula – somente o bom senso combinado com a experiência – pode resolver esse problema. Nada substitui um bom julgamento de engenharia. A maioria dos erros no dimensionamento deve-se a hipóteses incorretas relativas às condições reais da vazão.

Na prática e por motivos psicológicos, a tendência é super dimensionar a válvula, ou seja, estar do lado mais seguro. Uma combinação desses vários fatores de segurança pode resultar em uma válvula super dimensionada e incapaz de executar o controle desejado.



*Masoneilan*: é uma divisão da Dresser, empresa dedicada à fluidos, veja

<http://www.dresser.com>

Aqui serão apresentadas as equações de cálculo da **Masoneilan** e da **Emerson** para mostrar as diferenças em suas equações e seus métodos. A maior diferença ocorre nas equações de dimensionamento de fluidos compressíveis (gás, vapor ou vapor d'água).

### 8.4.2 Válvulas para líquidos

A equação básica para dimensionar uma válvula de controle para serviço em líquido é a mesma para todos os fabricantes.

$$Q = C f_v(x) \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

Onde:

- Q é a vazão volumétrica
- $\Delta P$  é a queda de pressão através da válvula
- $\rho$  é a densidade relativa da válvula

Há outras considerações e correções devidas à viscosidade, flasheamento e cavitação, na escolha da válvula para serviço em líquido.

### 8.4.3 Válvulas para gases

O gás é mais difícil de ser manipulado que o líquido, por ser compressível. As diferenças entre os fabricantes são encontradas nas equações de dimensionamento para fluidos compressíveis. Essas diferenças são devidas ao modo que se expressa ou se considera o fenômeno da vazão crítica.

A vazão crítica é a condição que existe quando a vazão não é mais função da raiz quadrada da diferença de pressão através da válvula, mas apenas função da pressão a montante. Este fenômeno ocorre quando o fluido atinge a velocidade do som na **vena contracta**. Assim que o gás atinge a velocidade do som, na vazão crítica, a variação na pressão à jusante não afeta a vazão (somente variação na pressão a montante afeta a vazão).

### 8.4.4 Queda de pressão na válvula

Deve-se entender que a válvula de controle manipula a vazão absorvendo uma queda de pressão do sistema. Essa queda de pressão é uma perda econômica para a operação do processo, desde que a pressão seja fornecida por uma bomba ou compressor. Assim, a economia deve ditar o dimensionamento da válvula com pequena perda de pressão. A queda de pressão projetada afeta o desempenho da válvula.

Em um sistema de redução de pressão, é fácil conhecer precisamente a queda de pressão através da válvula. Isso também ocorre em um sistema de nível de um líquido, em que este passa de um vaso para outro em uma pressão constante e baixa. Porém, na maioria das aplicações de controle, a queda de pressão através da válvula deve ser escolhida arbitrariamente.

O dimensionamento da válvula de controle é difícil, porque as recomendações publicadas são ambíguas, conflitantes ou não satisfazem os objetivos do sistema. Não há regra numérica específica para determinar a queda de pressão através da válvula de controle.

Luyben (1990) recomenda que a válvula esteja a 50% de abertura, nas condições normais de operação. Outros autores recomendam que o  $C_v$  necessário não exceda 90% do  $C_v$  instalado e, que a válvula provoque 33% da queda de pressão total, na condição nominal de operação. Outros autores sugerem 5 a 10%.

Quanto menor a percentagem, maior é a válvula. Quanto maior a válvula, maior é o custo inicial da instalação, mas menor é o custo do bombeamento.

## A-Z

### **vena contracta**

A formação e o subsequente colapso de bolhas de vapor em fluxos na vazão de líquidos é a principal fonte de danos em válvulas de controle e na tubulação adjacente.

Conforme o líquido passa através de uma restrição em uma válvula de controle, a velocidade do líquido aumenta e sua pressão diminui. A pressão atinge o mínimo em um ponto chamado de **"vena contracta"** e, se a pressão nesse ponto cair até ou abaixo da pressão de vapor do líquido (a pressão em que o líquido se vaporiza) formam-se bolhas de vapor no fluxo de vazão. Após o ponto de **vena contracta**, a área da vazão aumenta, a velocidade diminui e a pressão aumenta. Se essa pressão recuperada for suficiente para aumentar a pressão acima da pressão de vapor do líquido, as bolhas de vapor implodem. A implosão das bolhas causa vibrações e ruídos que podem ser extremamente fortes, atacando mecanicamente as paredes da tubulação e componentes da válvula, o que pode ocasionar falha dos componentes da válvula, especialmente da sede e do obturador.

Uma boa regra de trabalho considera que um terço da queda de pressão total do sistema (filtros, trocadores de calor, bocais, medidores de vazão, restrições de orifício, conexões e a tubulação com atrito) é absorvido pela válvula de controle.

A pressão diferencial absorvida pela válvula de controle em operação real é a diferença entre a coluna total disponível e a necessária para manter a vazão desejada através da válvula. Essa pressão diferencial é determinada pelas características do processo e não pelas hipóteses teóricas do projetista.

Por causa da economia, a queda de pressão através da válvula deve ser a menor possível. Por causa do controle, a queda de pressão através da válvula deve ser a maior possível. Para poder fazer o controle correto, a válvula deve absorver do sistema e devolver para o sistema a queda de pressão. Quando a proporção da queda de pressão através da válvula é diminuída, a válvula de controle perde a habilidade de aumentar rapidamente a vazão.

Também, a pequena perda de carga resulta em grande tamanho da válvula e, como consequência, maior custo inicial da válvula e uma diminuição da faixa de controle, pois a válvula está super dimensionada.

A quantidade de vazão máxima da válvula deve ser de 15 a 50% acima da máxima vazão requerida pelo processo. As vazões normais e máximas usadas no dimensionamento devem ser baseadas nas condições reais de operação, sem aplicação de qualquer fator de segurança.

## **8.5 Instalação da válvula de controle**

A decisão mais importante na aplicação de uma válvula é a sua colocação certa para fazer o trabalho certo. Depois, mas de igual importância, é a sua localização e, finalmente, a sua instalação. Todas as três etapas são igualmente importantes para se obter um serviço satisfatório e uma longa vida da válvula.

### **8.5.1 Localização da válvula de controle**

As válvulas devem ser localizadas em uma tubulação, de modo que elas sejam operadas com facilidade e segurança. Se não há operação remota, nem manual, nem automática, as válvulas devem ser localizadas de modo que o operador possa ter acesso a elas. Quando a válvula é instalada em local muito alto, além do alcance do braço levantado do operador, ele terá dificuldade em alcançá-la, não poderá fechá-la totalmente e, eventualmente, haverá vazamento que poderá causar desgaste anormal nos seus internos.

### 8.5.2 Cuidados antes da instalação da válvula de controle

As válvulas são geralmente embrulhadas e protegidas de danos durante o transporte, pelo fabricante. Essa embalagem deve ser deixada no lugar até que a válvula seja instalada. Se a válvula ficar exposta, poeira, areia e outros materiais ásperos podem penetrar nas suas partes funcionais. Se esses materiais não forem eliminados, certamente haverá problemas quando a válvula for instalada para operar.

As válvulas devem ser armazenadas onde fiquem protegidas de atmosferas corrosivas, de modo que elas não caiam ou que outros materiais pesados não caiam sobre elas.

Antes da instalação, é conveniente ter todas as válvulas limpas, normalmente com ar comprimido limpo ou jatos d'água. A tubulação também deve ser limpa, com a remoção de todas as sujeiras e rebarbas metálicas deixadas durante a montagem.

### 8.5.3 Tensões da tubulação

A tubulação que transporta fluidos em alta temperatura fica sujeita a tensões termais por causa da expansão térmica do sistema da tubulação. Por isso, deve-se prover expansão para o comprimento de tubulação envolvido, para que estas tensões não sejam transmitidas às válvulas e às conexões.



**Figura 8.1: Curvas que podem gerar tensões**

Fonte: <http://www.pipespecialties.com>

A expansão da tubulação pode ser acomodada pela instalação de uma curva em “U” ou de uma junta de expansão entre todos os pontos de apoio, sempre garantindo que haja movimento suficiente para acomodar a expansão do comprimento de tubulação envolvido. Note que a mesma condição existe, mas em direção contrária, quando há temperaturas criogênicas (muito baixas). Nesse caso, também deve-se prover compensação para a contração da linha.

### **8.5.3.1 Redutores**

Por questão econômica, e para facilitar a sua operação, é comum haver o diâmetro da válvula menor do que o da tubulação. Para acomodar essa diferença de diâmetros, usa-se o redutor entre a tubulação e a válvula. O redutor aumenta as perdas e varia o  $C_v$  da válvula. O comum é usar um fator de correção, que é a relação dos  $C_v$ 's, sem e com os redutores. Esses fatores de correção podem ser obtidos dos fabricantes ou levantados experimentalmente.

O efeito dos redutores na vazão crítica é também sentido e deve-se usar o fator de vazão crítica corrigido, que relaciona o  $C_v$  da válvula, o  $C_v$  da válvula sem os redutores e os diâmetros da válvula e da tubulação.

### **8.5.4 Instalação da válvula**

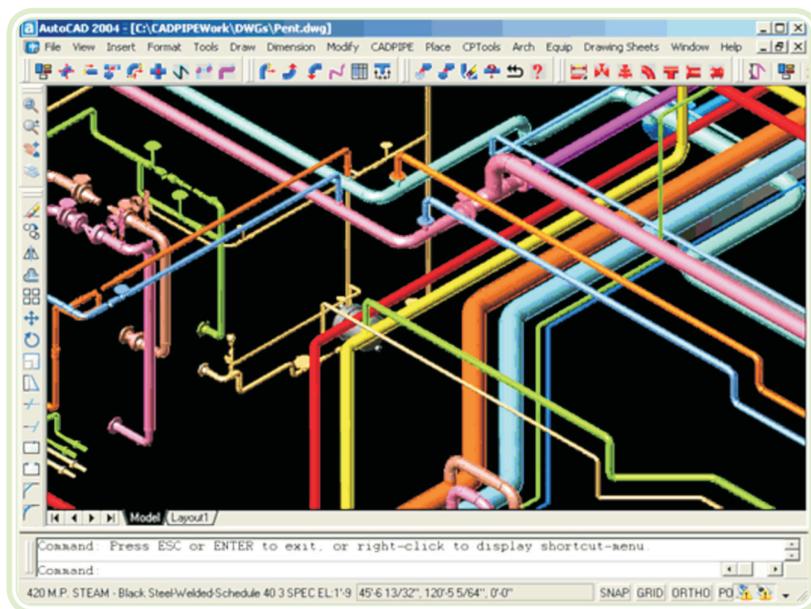
Há cuidados e procedimentos que se aplicam para todos os tipos de válvulas e há especificações especiais para determinados tipos de válvulas.

Quando instalar a válvula, é preciso garantir que todas as tensões da tubulação não sejam transmitidas a ela. A válvula não deve suportar o peso da linha. A distorção por essa causa resulta em operação ineficiente, obstrução e em necessidade de manutenção frequente. Se a válvula possuir flanges, será difícil apertar os parafusos corretamente. A tubulação deve ser suportada próxima da válvula. Válvula muito pesada deve ter suporte independente dos suportes da tubulação, de modo a não induzir tensão no sistema da tubulação.

Quando instalar válvula com haste móvel, garantir que haja espaço suficiente para a operação da válvula e para a remoção da haste e do castelo, em caso de necessidade de manutenção local.

É conveniente instalar a válvula com a haste na posição vertical e com movimento para cima; porém, muitas válvulas podem ser instaladas com a haste em qualquer ângulo.

Quando instalar a válvula com a haste se movimentando para baixo, o castelo fica abaixo da linha de vazão, formando uma câmara para pegar e manter substâncias estranhas. Essas sujeiras, se presas, podem eventualmente arruinar a haste interna ou os filetes de rosca.



**Figura 8.2: Tubulações no AutoCad**

Fonte: <http://www.cadpipe.com>

## Resumo

Nessa aula vimos como as válvulas de controle são elementos finais de uma malha de controle que exigem uma boa carga de conhecimento. Para trabalhar no projeto, montagem ou manutenção de sistemas de fluidos automatizados, esses componentes devem ser intensamente estudados. Além das válvulas de controle, também será importante estudar as tubulações propriamente ditas e seus componentes.

## Atividades de aprendizagem

1. Cite três funções das válvulas de controle.
2. Quais são as características das válvulas de controle quanto ao tipo?
3. Quando as características das válvulas de controle são aceitáveis? Cite duas características.
4. Porque calculamos o  $C_v$  das válvulas de controle?



5. Qual a definição de Cv?
6. O que devemos conhecer para o correto dimensionamento das válvulas de controle?
7. O que podemos entender por *vena contracta*?
8. Cite os cuidados que devemos ter antes da instalação da válvula de controle.
9. Quais os cuidados ou procedimentos exigidos na instalação da válvula de controle?

## Referências

ALVES, J. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

BEGA, E. A. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.

FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial: conceitos, aplicações e análises**. 2.ed. São Paulo: Editora Érica, 2004.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação Eletrônica Moderna e Técnicas de Medição**. São Paulo: Ed. Prentice-Hall do Brasil, 1994.

INMETRO – **Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial e SENAI nº 029 de 1995 / INMETRO**, SENAI – Departamento Nacional. 5. ed. Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007. 72p.

LUYBEN, W. L. **Process Modeling, Simulation and Control for Chemical Engineers**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1990.

## Currículo do professor-autor



**Sérgio Adalberto Pavani** é professor do CTISM, atua em diversas áreas com foco em automação e pneumática. Formado em Engenharia de Operações pela PUC/RS (1980) e Mestrado em Engenharia de Produção pela UFSM (2005). Acumulou experiência profissional de mais de 25 anos na área industrial, antes de ingressar na carreira docente. Iniciou as suas atividades profissionais na área de projeto naval (máquinas e tubulações) ainda como técnico, em 1975.

Em 1979, projetista no Grupo Gerdau, na área de utilidades, como líder de projetos, iniciando suas atividades relacionadas diretamente com automação industrial. Em 1983, assume como supervisor da área de utilidades com os serviços de projeto, operação e manutenção de um setor com área de 3 km<sup>2</sup> e mais de 15.000 CV em compressores, bombas, torres de refrigeração e caldeiras.

Em 1990 trabalhou nas áreas de estudo de projetos e detalhamento de projetos na COPESUL e REFAP.

Em 1992, assume a produção da Globo Inox, com a construção da primeira queijaria automática do Brasil e projetos especiais.

Em 1995, ingressa no CTISM, como professor de usinagem e, em 1998, fixa-se na área de automação-hidráulica e pneumática, participando da constituição do maior laboratório didático do Brasil dedicado à pneumática.