



e-Tec Brasil
Escola Técnica Aberta do Brasil

Insira aqui o nome do curso

Instrumentação Básica

Sérgio Adalberto Pavani

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria



Santa Maria – RS
2009

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este Caderno foi elaborado em parceria entre o Colégio Técnico Industrial de Santa Maria e a Universidade Federal de Santa Catarina para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

Equipe de Elaboração

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM

Coordenação Institucional
Paulo Roberto Colusso/CTISM

Professor-autor
Sérgio Adalberto Pavani/CTISM

Equipe Técnica
Carlos Gustavo Hoelzel
Ana Claudia Pavão Siluk
Sílvia Nascimento

Revisor
Marcus Vinicius Braun
Eduardo Lehnhart Vargas
Gilciano Sala

Ilustração
Rafael Cavalli Viapiana
Marcel Jaques
André Krusser Dalmazzo

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

Design Instrucional
Juliana Leonardi/UFSC

Web Design
Beatriz Wilges/UFSC

Diagramação

André Rodrigues da Silva/UFSC
Bruno César Borges Soares de Ávila/UFSC
Gabriela Dal Toé Fortuna/UFSC
Guilherme Ataíde Costa/UFSC
João Gabriel Doliveira Assunção/UFSC
Luís Henrique Lindner/UFSC

Revisão

Júlio César Ramos/UFSC

Projeto Gráfico

Eduardo Meneses/SEED MEC
Fábio Brumana/SEED MEC

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

P337I PAVANI, Sérgio Adalberto

**Instrumentação Básica / Sérgio Pavani.– 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
681.2**

Apresentação e-Tec Brasil

Amigo(a) estudante!

O Ministério da Educação vem desenvolvendo Políticas e Programas para expansão da Educação Básica e do Ensino Superior no País. Um dos caminhos encontrados para que essa expansão se efetive com maior rapidez e eficiência é a modalidade a distância. No mundo inteiro são milhões os estudantes que frequentam cursos a distância. Aqui no Brasil, são mais de 300 mil os matriculados em cursos regulares de Ensino Médio e Superior a distância, oferecidos por instituições públicas e privadas de ensino.

Em 2005, o MEC implantou o Sistema Universidade Aberta do Brasil (UAB), hoje, consolidado como o maior programa nacional de formação de professores, em nível superior.

Para expansão e melhoria da educação profissional e fortalecimento do Ensino Médio, o MEC está implementando o Programa Escola Técnica Aberta do Brasil (e-Tec Brasil). Espera, assim, oferecer aos jovens das periferias dos grandes centros urbanos e dos municípios do interior do País oportunidades para maior escolaridade, melhores condições de inserção no mundo do trabalho e, dessa forma, com elevado potencial para o desenvolvimento produtivo regional.

O e-Tec é resultado de uma parceria entre a Secretaria de Educação Profissional Tecnológica (SETEC), a Secretaria de Educação a Distância (SED) do Ministério da Educação, as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

O Programa apóia a oferta de cursos técnicos de nível médio por parte das escolas públicas de educação profissional federais, estaduais, municipais e, por outro lado, a adequação da infra-estrutura de escolas públicas estaduais e municipais.

Do primeiro Edital do e-Tec Brasil participaram 430 proponentes de adequação de escolas e 74 instituições de ensino técnico, as quais propuseram 147 cursos técnicos de nível médio, abrangendo 14 áreas profissionais.

O resultado desse Edital contemplou 193 escolas em 20 unidades federais. A perspectiva do Programa é que sejam ofertadas 10.000 vagas, em 250 polos, até 2010.

Assim, a modalidade de Educação a Distância oferece nova interface para uma expressiva expansão da rede federal de educação tecnológica dos últimos anos: a construção dos novos centros federais (CEFETs), a organização dos Institutos Federais de Educação Tecnológica (IFETs) e de seus campi.

O Programa e-Tec Brasil vai sendo desenhado na construção coletiva e participativa nas ações de democratização e expansão da educação profissional no País, valendo-se dos pilares da educação a distância, sustentados pela formação continuada de professores e pela utilização dos recursos tecnológicos disponíveis.

A equipe que coordena o Programa e-Tec Brasil lhe deseja sucesso na sua formação profissional e na sua caminhada no curso a distância em que está matriculado(a).

Brasília, Ministério da Educação – setembro de 2008.

Indicação de ícones

Os ícones funcionam como elementos gráficos utilizados para facilitar a organização e a leitura do texto. Veja a função de cada um deles:



Atenção: Mostra pontos relevantes encontrados no texto.



Saiba mais: Oferece novas informações que enriquecem o assunto como “curiosidades” ou notícias recentes relacionados ao tema estudado.



Glossário: Utilizado para definir um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias Integradas: Indica livros, filmes, músicas, sites, programas de TV, ou qualquer outra fonte de informação relacionada ao conteúdo apresentado.



Pratique: Indica exercícios e/ou Atividades Complementares que você deve realizar.



Resumo: Traz uma síntese das idéias mais importantes apresentadas no texto/aula.



Avaliação: Indica atividades de avaliação de aprendizagem da aula.

Sumário

Apresentação e-Tec Brasil	3
Indicação de ícones	5
Sumário	7
Palavra do professor-autor	9
Aula 1 – Processos	11
1.1 Introdução	11
1.2 Tipos de processos	12
1.3 Instrumentação industrial	13
Aula 2 - Metrologia	21
2.1 Introdução	21
2.2 Conceitos fundamentais	21
Aula 3 – Unidades Legais de Medida	31
3.1 Introdução	31
3.2 Unidades do SI e múltiplos e submúltiplos das unidades	32
3.3 Unidades de base	37
3.4 Unidades derivadas	38
3.5 Unidades suplementares	38
Aula 4 - Características Dos Sistemas de Medição (Primeira Parte)	41
4.1 Introdução	41
4.2 Padrão da calibração	41

AULA 5 – Características dos Sistemas de Medição (Segunda Parte)	49
5.1 Introdução	49
5.2 Padrões de calibração	49
Aula 6 – Classes dos Instrumentos	57
6.1 Introdução	57
6.2 Classificação dos instrumentos	57
6.3 Identificação e símbolos de instrumentos	61
AULA 7 – Válvulas de Controle (Primeira Parte)	69
7.1 Introdução	69
7.2 Controladores	69
7.3 Instrumentação de controle de processos	73
7.4 Válvulas de controle	76
AULA 8 – Válvulas de Controle (Segunda Parte)	83
8.1 Introdução	83
8.2 Aplicações de válvulas de controle	83
8.3 Características da válvula	84
8.4 Seleção, dimensionamento e especificação de válvulas de controle - exemplos práticos	85
8.5 Dimensionamentos da válvula de controle	87
8.6 Instalações da válvula de controle	91

Palavra do professor-autor

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 os assuntos aqui 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.

Também será importante a mudança do sentido da percepção dos processos cotidianos, 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.

Aula 1 – Processos

Objetivos da aula

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

Compreender instrumentos, controladores e sua relação com processos singelos e complexos;

Empregar a nomenclatura técnica no estudo e interpretação da instrumentação.

1.1 Introdução

A evolução das tecnologias, equipamentos e sistemas de controle de processos industriais sempre objetivam a eliminação ou minimização de algum problema gerado pela operação ou agregação de valor anterior. Entretanto, sempre que se desenvolve uma nova solução buscando a obtenção de maiores vantagens, podem ser gerados novos problemas ou dificuldades. A relação custo x benefício, detidamente analisada, é que irá definir se a solução projetada poderá ser implantada.

Elementos finais de controle: <http://www.hytronic.com.br/>



As opções desenvolvidas durante as diversas fases da automação e controle de processos foram sendo consolidadas ou invalidadas por essa metodologia, a qual confronta as vantagens e as desvantagens de cada implantação.

Toda a teoria do controle de processos pode ser simplificada como as relações entre um processo que precisa ser automatizado. Esta automação é realizada através de um elemento final de controle (que controla o processo), um sensor que “sente” a variável do processo e um controlador ligado ao sensor. Todos estes elementos serão detalhados.

1.2 Tipos de processos

Os processos podem ser realizados de diversas maneiras:

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



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

Geração de energia hidroelétrica: <http://www.eletronuclear.gov.br/tecnologia/index.p?idSecao=2&idCategoria=91>

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.



Para refinaria de petróleo, veja: http://www.refap.com.br/refap_funcionamento.asp

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.

Exemplo:

Polimerização, fabricação de produtos farmacêuticos.

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

1.3 Instrumentação industrial

Para termos uma ideia do que é instrumentação e controle, podemos olhar para qualquer ser vivo, especialmente o humano.

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

Quem são os sensores?

Nossos olhos, nariz, ouvidos, nossa língua, toda a nossa pele para o sentido do tato, temperatura, entre outros.

Quais as grandezas a serem avaliadas?

Para um exemplo, usamos os olhos para avaliar distâncias, baseados nas informações recebidas pelo cérebro e na nossa experiência; portanto, a grandeza é a distância, que pode ser determinada em metros ou somente longe ou perto.

Quais 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, onde nossa cultura, costumes e desejos definem o que queremos fazer.

Assim são os demais processos industriais.

1.3.1 Instrumentação para controle de processos

Os processos industriais são variados, envolvem muitos tipos de produtos, máquina e matérias-primas e, também, exigem controle adequado às exigências da precisão dos produtos gerados. Normalmente, os maiores usu-

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

ários 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 sua complexidade de seus processos e exigência de muitos pontos de controle, além da rápida variação e exigência de valores precisos nos seus parâmetros.

Nos processos em geral é necessário controlar e manter constantes as principais variáveis do processo, 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 essas variáveis em condições mais adequadas/precisas do que se elas fossem controladas manualmente por um operador. Isto se deve ao fato que um operador não pode manter a sua atenção em tempo total.

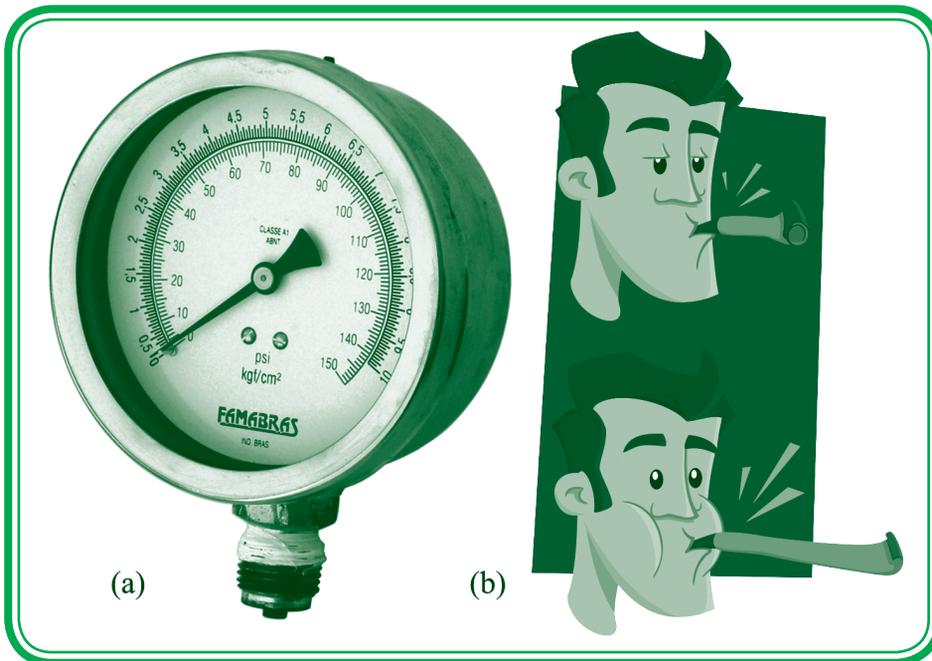
1.3.2 Instrumentos

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:

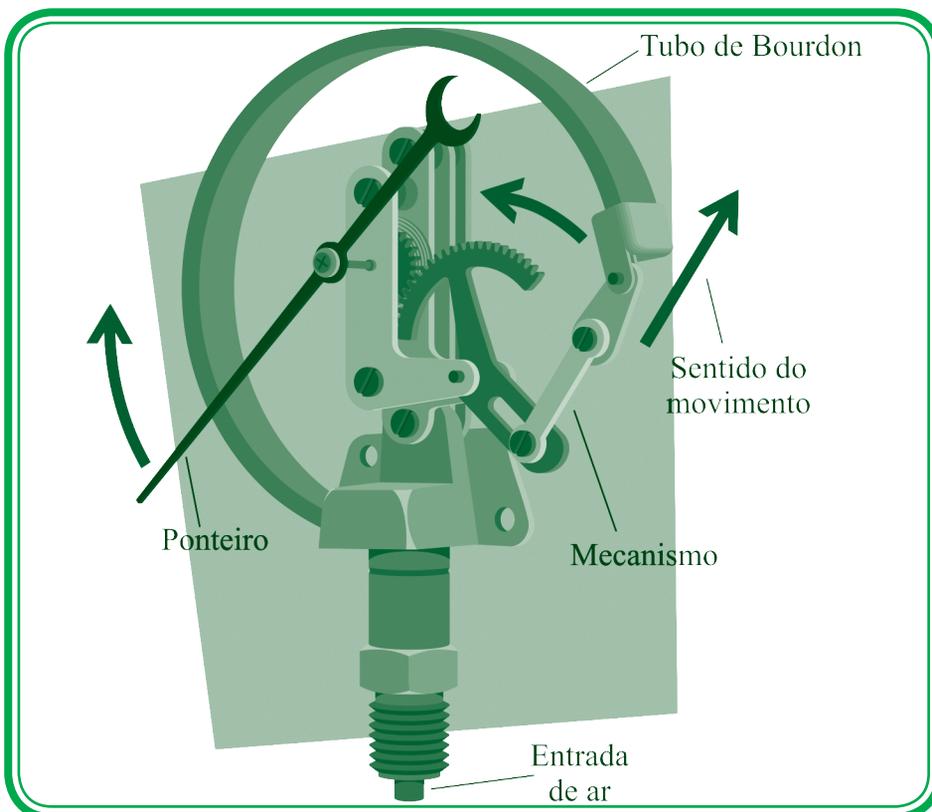
Mecânico, hidráulico, eletrônico, pneumático, elétrico ou a combinação destes.

Exemplo de instrumento mecânico: Manômetro de *Bourdon*



Fonte: CTISM

Figura 1.1: (a) Manômetro de Bourdon; (b) Tubo Bourdon (funciona como a língua de sogra (brinquedo) quanto mais forte é o sopro, mais desenrola).



Fonte: CTISM

Figura 1.2: Funcionamento do manômetro de Bourdon

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



1. Procure listar coisas (produtos ou processos) que fazemos todos os dias e que você conhece;
2. Escolha um dos processos que você conheça profundamente;
3. 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 (Figura 1.3).

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



Figura 1.3: Dispositivos do instrumento

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 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 à otimização e eficiência destes 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.

1.3.3 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”, independentes da decisão ou 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 a compra e instalação de máquinas caras e complexas como os robôs industriais.

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 (Figura 1.4), perdendo-se as vantagens geradas pela referida proximidade entre os equipamentos. Isso gerou atrasos e dificuldades de manutenção na planta; entretanto, as vantagens geradas compensavam essas desvantagens.

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

Pode ser caracterizada por ser desguarnecida ou guarnecida (com a presença de um operador).



Figura 1.4: Sala de controle da usina nuclear de Angra dos Reis

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

A-Z Glossário

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



A-Z Glossário

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.



Com a evolução dos sistemas eletrônicos e das comunicações digitais, que permitiu comunicação a 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 através de antenas (*sistema wireless*).

A evolução dos sistemas *wireless*:

<http://pessoal.pb.cefetpr.br/eventocientifico/revista/artigos/0607005.pdf>

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, 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 possamos entender uma quantidade significativa 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.



Processo: Para ver 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

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, como os 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 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, podendo ser contínuo ou discreto.

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

Exemplo:

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

Rugosidade:

<http://www.mspc.eng.br/tecdiv/rugosid110.shtml>

http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/5000033531_02_cap_02.pdf



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, que tornam um instrumento de área classificada “caro” quando comparado com um instrumento comum.

Áreas Classificadas:

<http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/7aR%C3%B6pker.pdf>



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 a sua ligação com os processos industriais, os tipos de processos e o que são instrumentos, importantes para entender as próximas etapas como os sistemas voltados à metrologia.



Avaliação

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 da aula

Estabelecer as diferenças entre Metrologia e Instrumentação para que possamos 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.

2.1 Introdução

Esta unidade irá demonstrar uma série de conceitos fundamentais para o entendimento dos sistemas de automação, pois a automação não é somente movimento, como nos transparece um robô, como aqueles que vemos na televisão, mas sim um sistema complexo de cálculos que utiliza diversas grandezas. Portanto, os conceitos baseados na **metrologia** serão fundamentais para entender os processos de automação.

2.2 Conceitos fundamentais

Juntamente com a colocação dos conceitos fundamentais relacionados à metrologia, será definida uma terminologia compatibilizada, com normas nacionais e internacionais. Esta terminologia deverá ser empregada no âmbito desta disciplina. Procura-se respeitar uma base técnica científica e a objetividade. Pode-se encontrar diferenças 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 Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), publicado pelo **Inmetro** no Brasil.

A-Z

Glossário

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.

A-Z

Glossário

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).

2.2.1 A diferença entre metrologia e instrumentação

Para iniciar o estudo da metrologia, torna-se necessário fazer uma distinção entre o que é 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 comportamento estático e dinâmico dos sistemas de medição. Na Metrologia o sistema de medição é considerado uma caixa preta.



Vocabulário Internacional de metrologia: <http://www.inmetro.gov.br/infotec/publicacoes/vim.pdf>

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.



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

<http://br.geocities.com/prcoliveira2000/metrologia.html>

Instrumentação:

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

2.2.2 O procedimento de medir

Medição (*measurement*)

Conjunto de operações que têm por objetivo determinar o valor de uma grandeza (a medir), através de processos manuais ou automáticos.

A grandeza a medir (GM) pode ser a 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 da leitura.

A medida é um número 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 e multiplicativo;
correlação tabular;

fator aditivo;
correlação analítica;
correlação gráfica e outros.

Resumindo:
 $M=L \cdot (\text{parâmetro do Sistema de Medição}) + \text{unidade da medida}.$

Para o leigo, o trabalho de medição terminaria aqui; afinal, tem-se 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 perfeito.

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, o qual 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), ilustrado a seguir:

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

onde:

$$\text{Resultado de Medição} = \text{Resultado Base} \pm \text{Incerteza da Medição}$$

Exemplo:

É dada uma série de medidas:

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

Após um tratamento destes dados, que podem ser um comprimento qualquer, o resultado seria:

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

Compare:

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

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

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

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

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

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

No resultado de medição, o resultado base pode ser uma medida, ou a me-

dida 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 do sistema de medição;
variação da grandeza medida.

Em função dos erros dos sistemas de medição e da variação da grandeza medida, o procedimento de determinação do resultado da medição deverá ser realizado 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 estejam devidamente treinados e dominando:

estatística básica;
conhecimento de qualificação de sistemas de medição;
Pleno domínio sobre métodos.

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

2.2.3 Sistema generalizado de medição

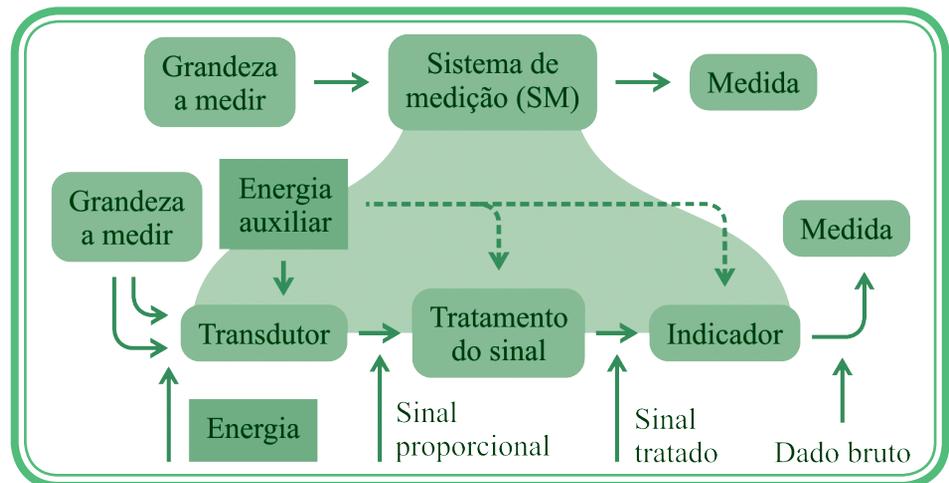
Apesar de a metrologia ocupar-se, em princípio, do sistema de medição (SM) como **caixa preta**, é importante, neste ponto, analisar sua constituição básica (Figura 2.1). Em muitos casos torna-se interessante caracterizar em módulos estes SMs, de forma independente ou para formar um novo SM pelo acoplamento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

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:

É 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.



Fonte: CTISM

Figura 2.1: Ilustração de um sistema de medição

2.2.4. 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.

1. É homogêneo porque, fixadas as grandezas e suas unidades fundamentais, é possível derivar delas outras grandezas e unidades.
2. É coerente porque a multiplicação ou a divisão de duas ou mais grandezas origina a unidade de uma nova grandeza.
3. É absoluto porque as unidades fundamentais são inalteráveis.
4. É decimal porque as unidades das grandezas são sempre múltiplas ou submúltiplas de dez.

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 adotado como unidade oficial de medidas de 18 nações.

O metro foi definido em 1960 como 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. Desta forma conseguia-se uma reprodução do metro com um erro de ± 10 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 cor-

responde a $\pm 1,3$ nm, o que significa um erro de 1,3 milímetros para 1.000 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, tem-se desta forma um padrão internacional **indestrutível**, não sujeito ao desgaste devido ao uso ou mudança física e 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 a Figura 2.2.

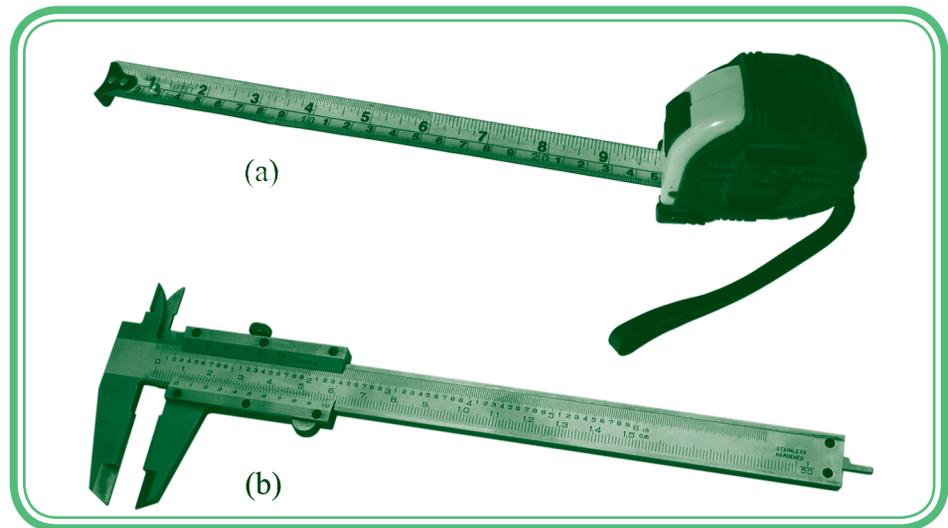


Figura 2.2: (a) Trena comum; (b) Paquímetro



Paquímetro:

<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

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

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 através do abandono dos sistemas superados.

Resumo

Nesta aula estudamos os conceitos iniciais da metrologia e, por consequência, da instrumentação. É uma atividade desafiadora para o estudante, porém fundamental para a compreensão das etapas seguintes.

Avaliação

1. Qual o conceito de metrologia?
2. Cite cinco grandezas que podemos medir.
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 são as bases do procedimento de determinação do resultado de medição?
7. O que é medir?
8. Quais são as características do SI?
9. Qual a definição de metro?
10. Quais as vantagens do uso do Sistema Internacional?



Aula 3 – Unidades Legais de Medida

Objetivos da aula

Estabelecer as relações entre as grandezas e suas unidades;

Reconhecer a importância das grandezas e sua correta expressão;

Desenvolver a percepção das relações entre as grandezas diversas.

3.1 Introdução

As informações aqui apresentadas irão ajudar você a compreender melhor e a escrever 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 aquelas 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 regiões. 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 ratificado 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 destaque a seguir esclarece como escrever as unidades SI:

Nome e Símbolo (como escrever as unidades SI)	
Nome	Em letra minúscula
	Formação do plural
	Pronúncia correta
Símbolo	Não é abreviatura
	Não é expoente
	Não tem plural

3.2 Unidades do SI e múltiplos e submúltiplos das unidades

3.2.1 O grama

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

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 destaque a seguir, conhecendo o modo como se usam os prefixos:

Certo	Errado	Significado
Quilograma; kg	Quilo; k	Mil gramas

Use a palavra quilômetro da maneira correta:

Certo	Errado	Significado
Quilômetro; km	Kilômetro	Mil metros
Quilograma; kg	Kilograma	Mil gramas
Quilolitro; kl	Kilolitro	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:

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

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo
Comprimento	Metro	Metros	m
Área	Metro quadrado	Metros quadrados	m ²
Volume	Metro cúbico	Metros cúbicos	m ³
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 por segundo	Metros por segundo por segundo	m/s ²

Massa	Quilograma	Quilogramas	kg
Massa específica	Quilograma por metro cúbico	Quilogramas por metro cúbico	kg/m ³
Vazão	Metro cúbico por segundo	Metros cúbicos por segundo	m ³ /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 Celcius	Grau Celsius	Graus Celcius	°C
Temperatura termodinâmica	Kelvin	Kelvins	K
Intensidade luminosa	Candela	Candelas	cd
Fluxo luminoso	Lúmen	Lúmens	lm
Iluminamento	Lux	Lux	lx

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo	Equivalência
volume	litro	litros	l ou L	0,001 m ³
ângulo plano	grau	graus	x°	$\frac{\pi}{180}$ 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

Grandeza	Nome	Plural	Símbolo	Equivalência
pressão	atmosfera	atmosferas	atm	101325 Pa
pressão	bar	bars	bar	10 ⁵ 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 ⁴ m ²
força	quilograma-força	quilogramas-força	kgf	9,80665 N
comprimento	milha marítima	milhas marítimas	---	1852 m
velocidade	nó	nós	---	$\frac{1852}{3600}$ m/s

3.2.6 Prefixos de múltiplos e submúltiplos

Nome	Símbolo	Fator de multiplicação da unidade
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	$10^{18} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
peta	P	$10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
tera	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$
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
deci	d	$10^{-1} = 0,1$
centi	c	$10^{-2} = 0,01$
mili	m	$10^{-3} = 0,001$
micro	μ	$10^{-6} = 0,000\ 001$
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	$10^{-24} = 0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001$

- 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 unidade volt por mil:

Quilo + volt = quilovolt; $k + V = kV$

Mili + volt = milivolt; $m + V = mV$

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

Exemplo:

Milibar; quilocaloria; megatonelada; hectolitro.

- 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 realizado através de um padrão.

A mudança do padrão pode ocorrer, mas não significa que o valor unitário é 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 se correlacionam às correspondentes grandezas.

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

Nome e Símbolo (como escrever as unidades SI)			
Superfície	Metro quadrado	m^2	$m \cdot m$
Força	Newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Energia, trabalho	Joule	J	$m^2 \cdot Kg \cdot s^{-2}$

3.5 Unidades suplementares

São unidades que não foram enquadradas ainda em uma das categorias anteriores. Trata-se basicamente das unidades de ângulo plano (radiano) e ângulo sólido (esteradiano), que não são derivadas e têm 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*. Esta 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.

Microchips: <http://www.lsi.usp.br/~chip/>

Acurado: <http://pt.wiktionary.org/wiki/acurado>



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 a sua importância.



Avaliação

1. Qual organismo criou o sistema métrico decimal?
2. Pesquise na rede outros sistemas de medida. Verifique qual é 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 a grandeza representada pelas unidades Bar? Cite a unidade oficial para esta grandeza.
6. A unidade “nó” representa qual 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 o volume equivalente a 2,5 hectolitros?



8. Quais 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 (Primeira Parte)

Objetivos da aula

Definir os parâmetros de um instrumento, para que possamos compreender os sistemas de erros;

Demonstrar os elementos necessários para a compreensão dos instrumentos;

Compreender as características dos sistemas de medição.

4.1 Introdução

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

Devido ao uso intenso da língua inglesa nos sistemas de automação, será colocada entre parênteses a tradução para essa língua.

4.2 Padrão da calibração

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.

Exemplo:

Massa padrão de 1 kg;

Resistor padrão de 100 Ω ;

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.

4.2.1 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.

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.

4.2.2 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 em termos do 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.

4.2.3 Amplitude da faixa nominal (*Span*)

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

Exemplo

Para uma faixa nominal de -10° C a +50° C a amplitude da faixa nominal é de 60° C.

Observação:

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

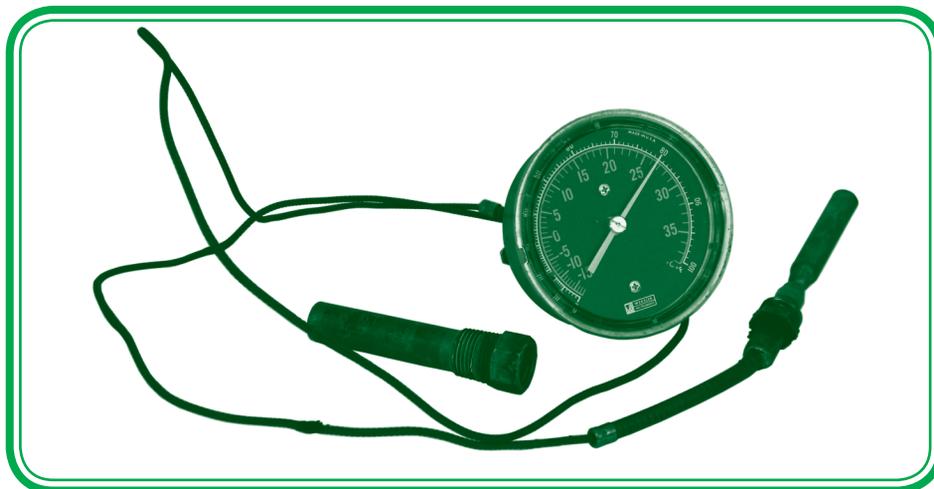
Exemplos:

Termômetro (Figura 4.1):

FO (Faixa de Operação): de -50°C a $+50^{\circ}\text{C}$

Medidor de deslocamento:

FO (faixa de Operação): de $-0,050\text{mm}$ a $+0,050\text{mm}$.



Fone: CTISM

Figura 4.1: Termômetro

A-Z Glossário

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.

4.2.4 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 Faixa de Operação (FO) que é menor ou, no máximo, igual a Faixa de Indicação (FI). A FO pode ser obtida através de:

Manual de utilização do sistema de medição;

Sinais gravados sobre a escala;

Especificações de normas técnicas.

4.2.5 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.

4.2.6 Comprimento de Escala (Scale length)

Para uma dada escala, 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.

4.2.7 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 (Figura 4.2).

Exemplos:

Manômetro: DE (Divisão de Escala) $-0,1 \text{ kgf} / \text{cm}^2$

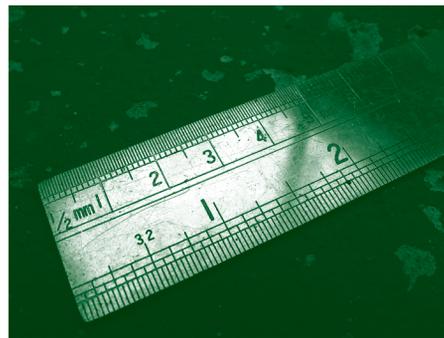
Termômetro: DE (Divisão de Escala) -5°C

Régua escolar: DE (Divisão de Escala) -1 mm



(a)

(b)



(c)

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% ; (c) Escala mecânica, divisão em mm.

4.2.8 Índice (*Index*)

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.

4.2.9 Resolução de um dispositivo mostrador (*Resolution of a displaying device*)

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 observamos os parâmetros para a compreensão da operação dos instrumentos. Dessa maneira poderemos compreender 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. Neste caso, depois de escolhido o que medir (temperatura, por exemplo) determinaremos as necessidades do processo e o início da especificação do instrumento.

Avaliação

1. Qual a diferença entre o padrão e a 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°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”. Em relação ao texto, reponda: A faixa de medição pode ser maior que a faixa de 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, etc.), seus materiais de construção (vidro, aços comuns, aços inoxidáveis, etc.). Faça um breve relato do que você pesquisou.

AULA 5 – Características dos Sistemas de Medição (Segunda Parte)

Objetivos da aula

Conhecer os conceitos relativos ao processo de medição;

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

5.1 Introdução

A primeira parte deste tema auxiliou na especificação das características físicas dos instrumentos, como os parâmetros de medição; já a segunda parte, mostra as características do erro.

Neste caso, poderemos verificar que dois instrumentos poderão ser parecidos externamente, mas possuir desempenho e preços diferentes em função de suas características de erro.

Agora vamos conhecer que erro e precisão de um instrumento são conceitos complexos e importantes na instrumentação industrial.

5.2 Padrões de calibração

5.2.1 Erro de medição (*Error of measurement*)

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.

5.2.2 Valor de uma grandeza (*Value of a quality*)

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

Exemplos:

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

Observação:

O valor de uma grandeza pode ser positivo, negativo ou nulo.

O valor de uma grandeza pode ser expresso por mais de uma maneira.

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, um procedimento de medição ou ambos.

5.2.3 Valor verdadeiro de uma grandeza (*True value of a quality*)

Valor consistente com a definição de uma dada grandeza específica.

Observação:

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

5.2.4 Valor verdadeiro convencional de uma grandeza (*Conventional true value of a quality*)

Valor atribuído a uma grandeza específica e aceito, às vezes, por convenção, como 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 $A = 6,0221368 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

5.2.5 Erro sistemático (*Systematic error*)

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.

5.2.6 Correção (*Correction*)

Valor adicionado algebricamente ao resultado não corrigido de uma medição para compensar um erro sistemático.

Observação:

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

5.2.7 Fator de correção (*Correction factor*)

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

A-Z

Glossário

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.

A-Z Glossário

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.

Observações:

Estas condições incluem:

- redução ao mínimo das variações devidas ao observador;
- mesmo procedimento de medição;
- mesmo observador;
- mesmo equipamento de medição utilizado nas mesmas condições.

Observação:

Uma vez que o erro sistemático não pode ser completamente conhecido, a compensação não pode ser completa.

5.2.8 Repetitividade de resultados de medições (*Repeatability of results of measurements*)

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.

5.2.9 Calibração ou aferição (*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 ainda valores representados por uma medida materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.



Calibração: <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 ou relatório de calibração.

5.2.10 Sensibilidade (*Sensitivity*)

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.

5.2.11 Histerese ou hysteresis (*h*)

Diferença entre leitura/medida (L/M) para um dado valor da grandeza medida quando esta 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.

5.2.12 Exatidão de medição (Accuracy of measurement)

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.

5.2.13 Exatidão de um instrumento de medição (Accuracy of a measuring instrument)

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

Observação:

Exatidão é um conceito qualitativo.

5.2.14 Classe de exatidão (Accuracy class)

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.

5.2.15 Ajuste de um instrumento de medição (Adjustment of a measuring instrument)

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.

5.2.16 Repetibilidade (*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 repetibilidade geralmente é expressa em porcentagem do alcance (*span*).

Consulte o Vocabulário Internacional de termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) e verifique a definição de outros termos relativos a instrumentos.



Resumo

Ao final desta aula compreendemos os processos de medição. Naturalmente, as aulas seguintes serão fundamentais para o domínio do processo de automação.



Avaliação

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 isto é um erro. As causas dos erros podem ser completamente determinadas? Explique o porquê.
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 sob as mesmas condições. Pergunta: 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 de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidas por padrões, é denominado _____.
8. Qual 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 da aula

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 a sua descrição.

6.1 Introdução

Arranjos complexos de instrumentos de medição e controle podem ser encontrados nas instalações industriais e podem ser classificados de diversas maneiras. Cada grandeza a ser medida exigirá instrumentos adequados às necessidades do processo. Um simples manômetro (instrumento utilizado para verificar a pressão) poderá ter diversas configurações. O manômetro que encontramos nos postos de combustíveis (utilizado para calibrar os pneus dos veículos) possui diversas formas e maneiras de operar e é diferente de outros tipos de medidores de pressão. Desta maneira, para compreender a instrumentação, nos aprofundaremos um pouco mais neste tema.

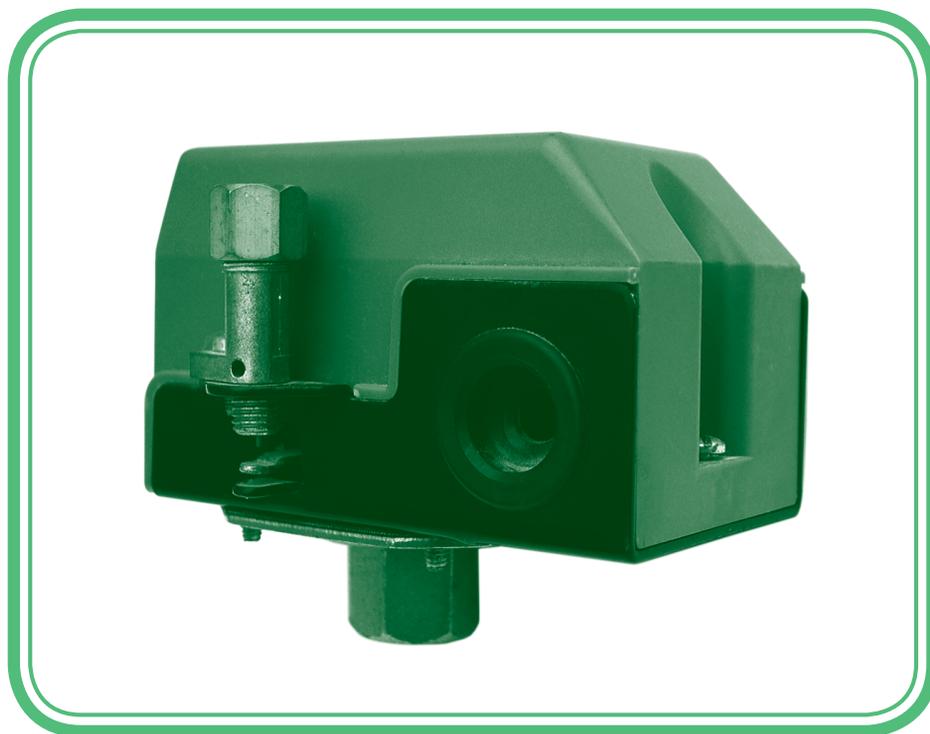
6.2 Classificação dos instrumentos

A classificação dos instrumentos nos auxilia a definir as necessidades do processo e a participação ou não de olhos humanos, a necessidade de registrar dados e outras necessidades.

6.2.1 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 denomi-

dados 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.



Fonte: CTISM

Figura 6.1 : Pressostato



Pressostato: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Pressostato>
http://www.margirius.com.br/info_pressos.aspx

6.2.2 Instrumentos indicadores

São instrumentos que possuem indicador e escala graduada, 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.

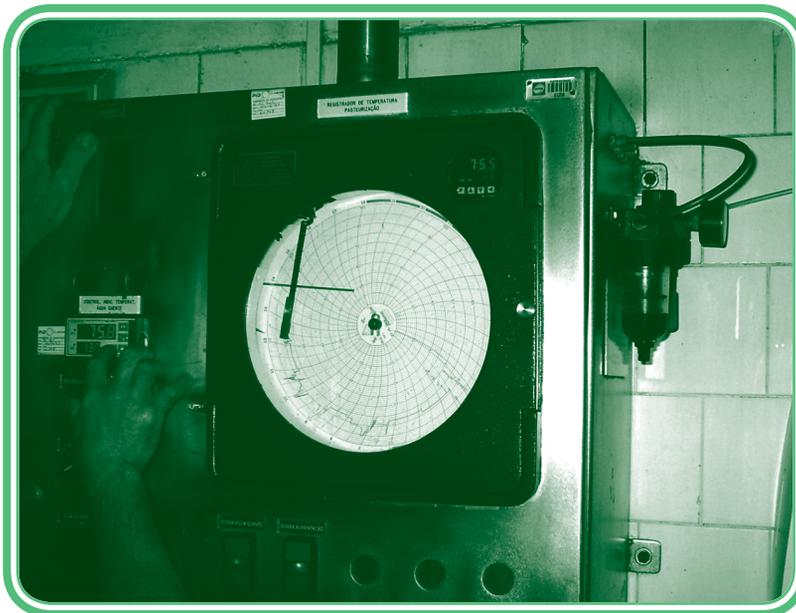


Fonte: www.motosclassicas70.com.br/

Figura 6.2: Velocímetro e odômetro de uma motocicleta

6.2.3 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.



Fonte: www.nei.com.br/

Figura 6.3: Registrador gráfico circular

6.2.4 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.

6.2.5 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).

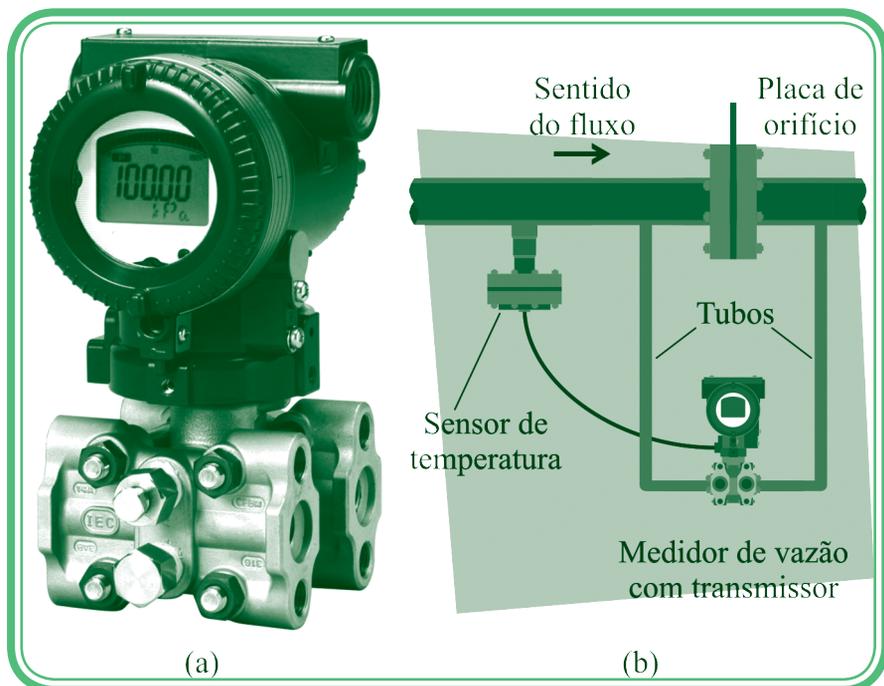


Figura 6.4: (a) Transmissor de pressão; (b) Transmissor de pressão com compensação de temperatura.



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

6.2.6 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/cm² ou 19,614 a 98,07 kPa).

6.3 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 (Quadro 6.2) 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).

Simbologia ISA: 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/>



	1º Grupo de Letras Variável Medida ou Inicial		2º Grupo de Letras Função		
	1ª Letra	Modificadora	Informação ou Passiva	Ativa	Modificadora
A	Analizador		Alarme		
B	Chama (de queimadura)				
C	Condutivi- dade elétrica			Contralodor	
D	Densidade ou massa especí- fica (Density)	Diferencial			
E	Tensão elétrica		Elemento primário- sensor		
F	Vazão (Flow)	Razão fração			
G	Medida dimensional		Visor		
H	Comando manual (Hand)				Alto
I	Corrente elétrica		Indicador		
J	Potência	Varredura ou seleção manual			
K	Tempo	Taxa de variação		Estação de controle	
L	Nível		Lâmpada piloto		Baixo
M	Unidade	Instantâneo			Média
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	

Fonte: do autor

W	Peso ou força		Ponto de prova ou poço		
X	Não classificado	Eixo dos X	Não classificado	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		

Quadro 6.1: Letras de identificação da instrumentação

Exemplos:

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 Quadro 6.2 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 destes símbolos juntamente com os do Quadro 6.4 e outros irão formar os fluxogramas representados na Figura 6.5.

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

Fonte: CTISM

Quadro 6.2: Símbolos gerais para instrumentos ou função programada

Símbolo	Função	Símbolo	Função
Σ ou +	Soma	x	Multiplicação
Σ/M	Média	\div	Divisão
Δ 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	∇	Limite superior
<	Seletor de sinal baixo	\nlessgtr	Limite inferior
\pm	Polarização	$\nabla \nlessgtr$	Limitador de sinal
f(t)	Função tempo	$\nabla \cdot$	Conversão de sinal

Quadro 6.3: Símbolos e funções de processamento de sinais

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

Símbolos para linhas de instrumentos ou função programada, conforme pode ser observado e identificado na Figura 6.5, 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 software)	-----	Sinal Binário Elétrico
●-●-●	Sinal fieldbus		

Quadro 6.4: Símbolos para linhas de instrumentos ou função programada

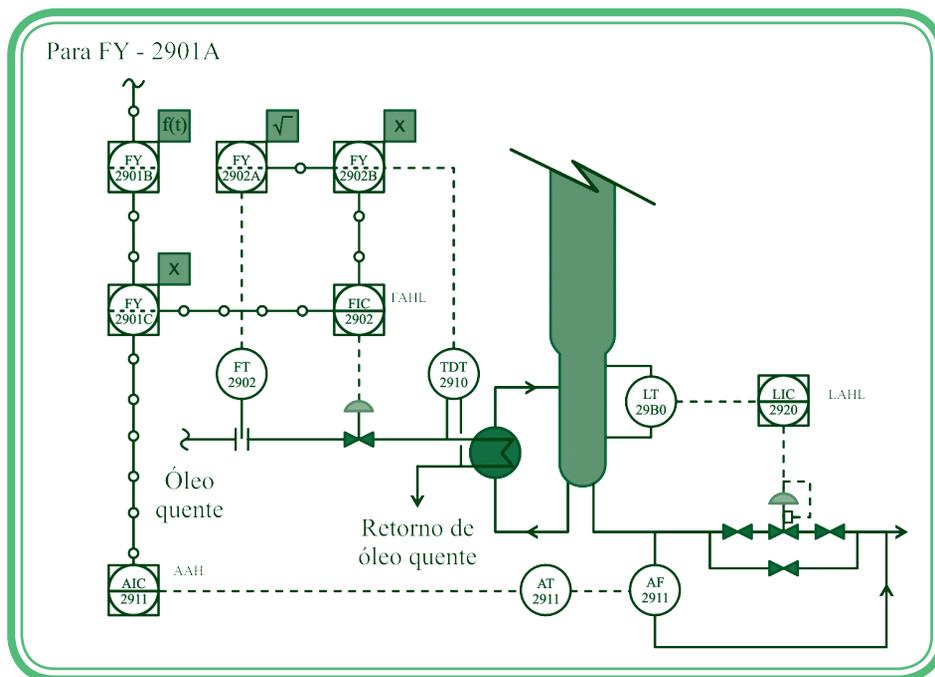


Figura 6.5: Exemplo de simbologia

## A-Z Glossário

**Diagrama:** é uma representação visual estruturada e simplificada de um determinado conceito, ideia, etc. Existem diversos tipos de diagramas, os quais são utilizados em quase todas as áreas do conhecimento humano. (wikipédia)

Todos esses símbolos são utilizados em fluxogramas como o representado na Figura 6.5. Com esta maneira descomplicada, podemos representar através de símbolos padronizados o que desejamos.

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 e passará a ESPECIFICAR a instrumentação desejada. Isto 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 da elaboração dos fluxogramas, que são elementos básicos para a compreensão dos sistemas de automação. Estes itens estão intimamente ligados ao processo a ser automatizado.



## Avaliação

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 abaixo?

C _____  
J _____  
K _____  
L _____

10. Usando as referências da simbologia ISA, identifique os instrumentos abaixo:

**a)** LIC-210-02

L _____  
I _____  
C _____

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 – Válvulas de Controle (Primeira Parte)

## Objetivos da aula

Conhecer o que são válvulas de controle e as suas aplicações;

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

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

## 7.1 Introdução

Nesta aula estudaremos uma parte dos controladores, as válvulas de controle, que são elementos utilizados nas indústrias de processo para controle dos fluidos. As válvulas de controle podem ser simples, com operação *on-off* (liga/desliga), até operações complexas em sistemas químicos e petroquímicos, controle de termoeletrônicas e outros.

Vamos conhecer as válvulas de controle!

## 7.2 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. Podem ser divididos em:

**Controladores Analógicos:** possuem construção de tecnologia analógica.

**Controladores Digitais:** possuem construção de tecnologia digital.



Fonte: [www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221pt.htm](http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221pt.htm)

Figura 7.1: Válvula de controle de pistão.



Válvula de controle: <http://www.inave.com.br/controle.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)

Válvula de controle, fornecedor, veja: [http://www.clason.com.br/popup_video.asp](http://www.clason.com.br/popup_video.asp)

### 7.2.1 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.



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

Figura 7.2: Válvula de Controle instalada: (a) Atuador pneumático; (b) Elemento obturador; (c) Transmissor; (d) Sensor; (e) Ar comprimido.



Fonte: [www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221.pt.htm](http://www.eibis.com/eibis/eibiswww/eibisdoc/4221.pt.htm)

Figura 7.3: Válvula de Controle com atuador instalado

## 7.2.2 Natureza lógica dos sistemas de controle

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

## A-Z Glossário

**Sensor:** é um dispositivo tecnológico ou órgão 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).

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. São considerados dois tipos: malha aberta e fechada.

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

Programa temporal (exemplo: partida estrela/triângulo)

Programa sequencial (Fechamento da malha por operador humano).

Exemplo:

Aquecimento de água 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.

### 7.2.3 Natureza física dos sistemas de controle

A atuação das válvulas de controle pode ser através de controle:

Mecânico, digital, pneumático, hidráulico, elétrico-analógico.

## 7.3 Instrumentação de controle de processos

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

Pneumático: 3 a 15 psing

Elétricos: 4 a 20mA, 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

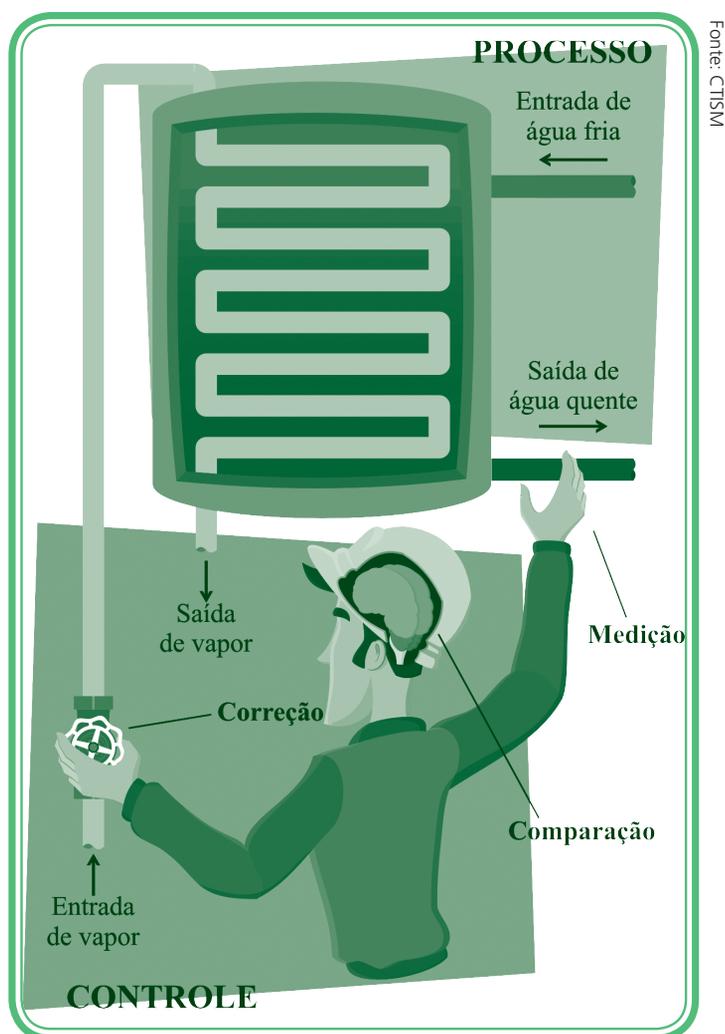
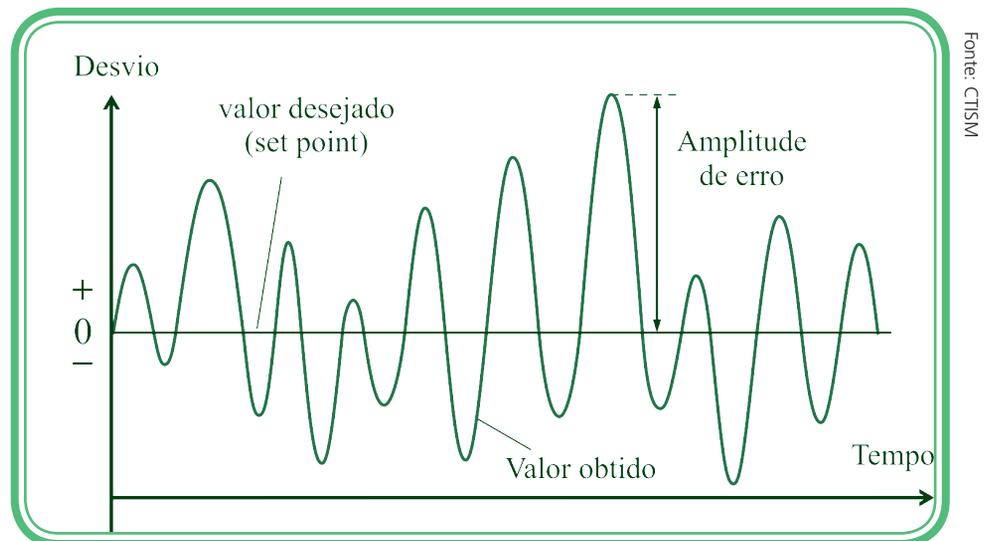


Figura 7.4: Controle manual de processos

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 um humano) prever as oscilações do processo, resultando em grandes amplitudes de variação, conforme mostrado na Figura 7.5.

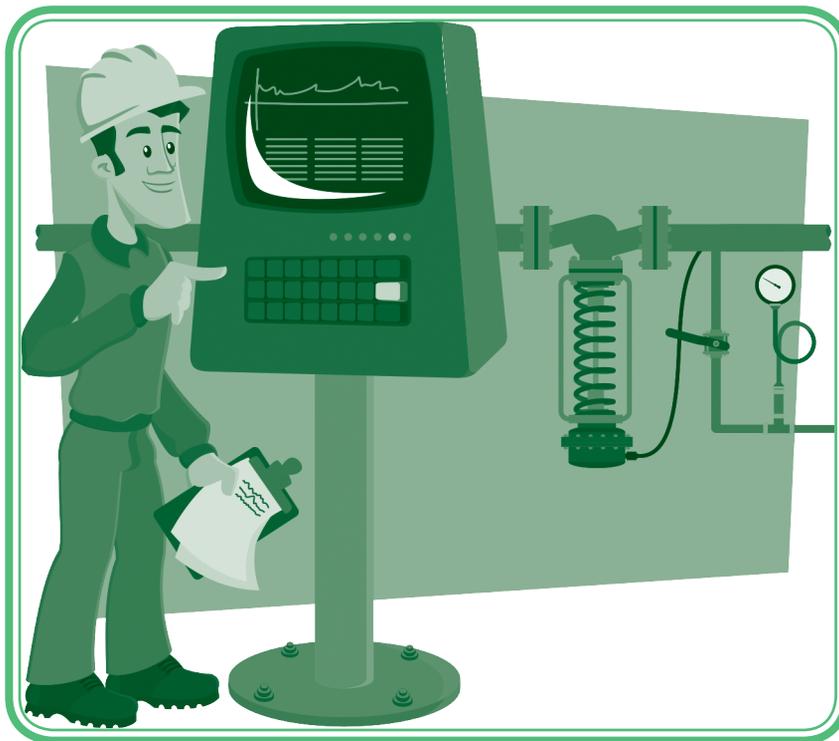


**Figura 7.5: Oscilações**

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 à otimização deste.

Estes sistemas de controle utilizam equipamentos que realizam a medição do valor da variável e transmitem uma informação referente a ele a um dispositivo 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.

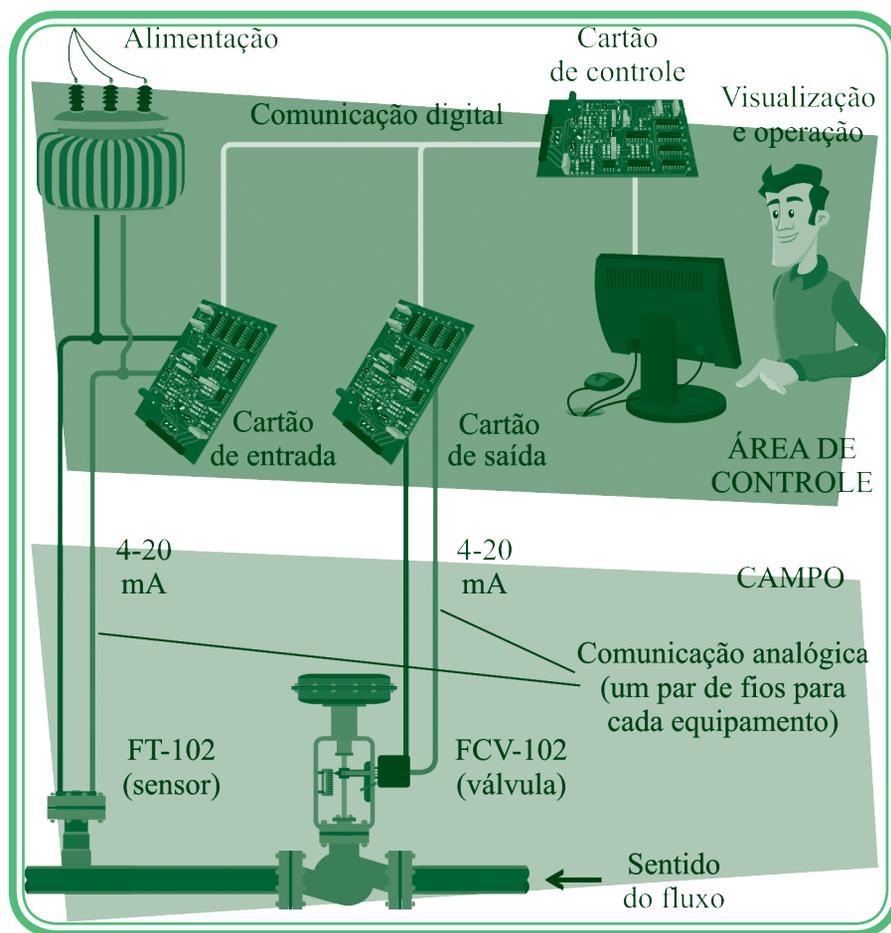


Fonte: CTISM

**Figura 7.6: Primeiros sistemas de controle**

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.

Os sistemas atuais poderão ser qualquer 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.



Fonte: CTISM

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

## 7.4 Válvulas de controle

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

### 7.4.1 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.

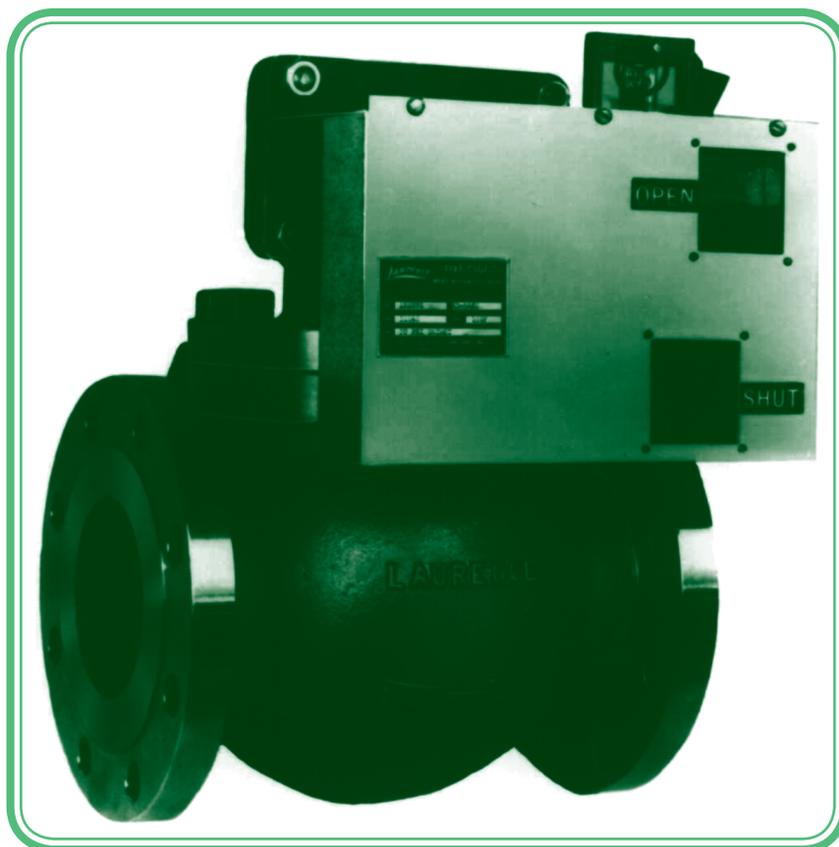
Para as pequenas capacidades, as válvulas agulha são bastante utilizadas, devido ao tipo de obturador que proporciona essas vazões de alguns litros por hora. Para grandes, que podem ultrapassar 1 milhão de litros por hora, são utilizadas as válvulas com obturador tipo borboleta.

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, e não simplesmente para abrir ou fechar a saída dos líquidos.

## A-Z Glossário

**Vias:** é a designação que as válvulas recebem para os orifícios.



Fonte: <http://news.thomasnet.com/fullstory/17229>

**Figura 7.8: Válvula globo**

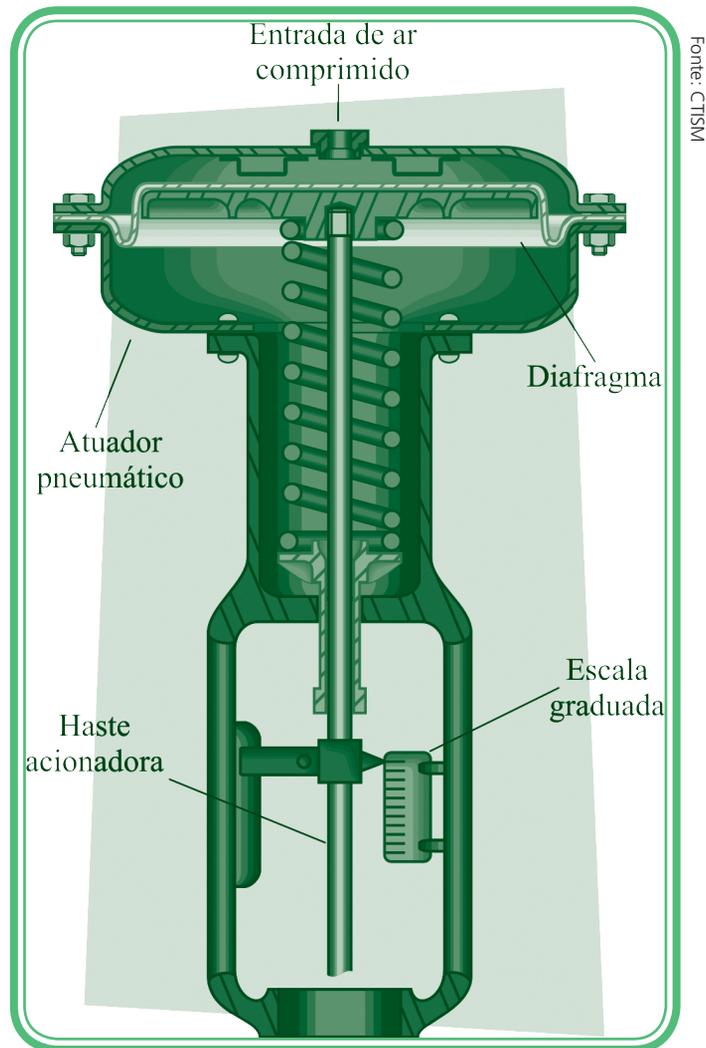
As válvulas de controle são compostas por:

Obturador, controlador e atuador

Como descrito anteriormente, os atuadores das válvulas de controle podem ser: Mecânico, Pneumático, Elétrico, Analógico, Digital e Hidráulico; porém, os atuadores pneumáticos são os mais utilizados.

Os atuadores pneumáticos podem ser dos tipos: dupla ação (quando movimentada 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) 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**

## 7.4.2 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.

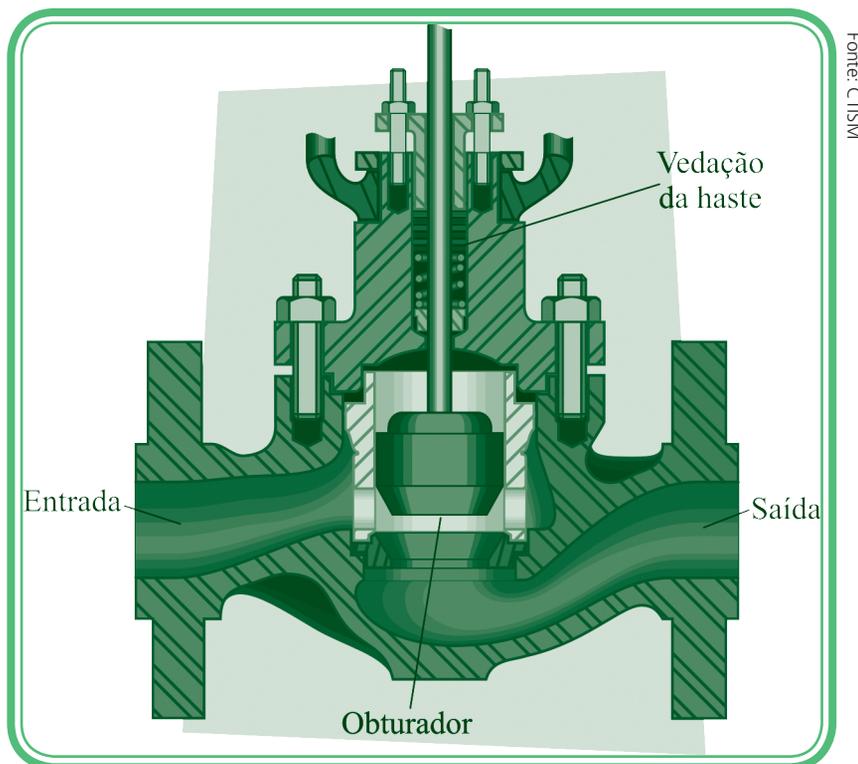


Figura 7.10: Válvula tipo globo

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

Variação da velocidade em uma válvula de controle, em função da variação da área: <http://www.flowserve.com/files/Files/Literature/Products/Flowcontrol/Valtek/vlatb103.pdf>

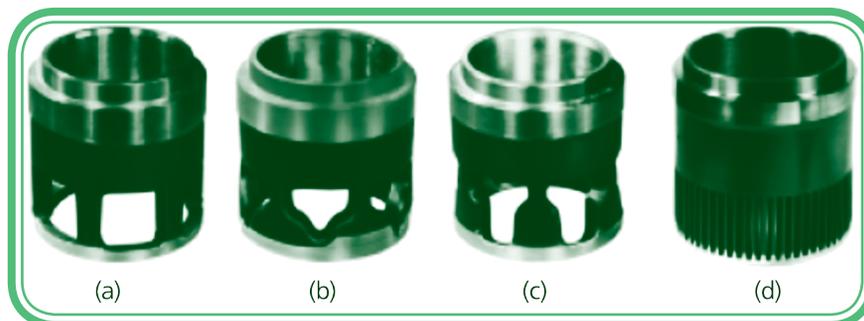
[http://www.clason.com.br/popup_video.asp](http://www.clason.com.br/popup_video.asp)



Essas variações 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 Rosemount*.

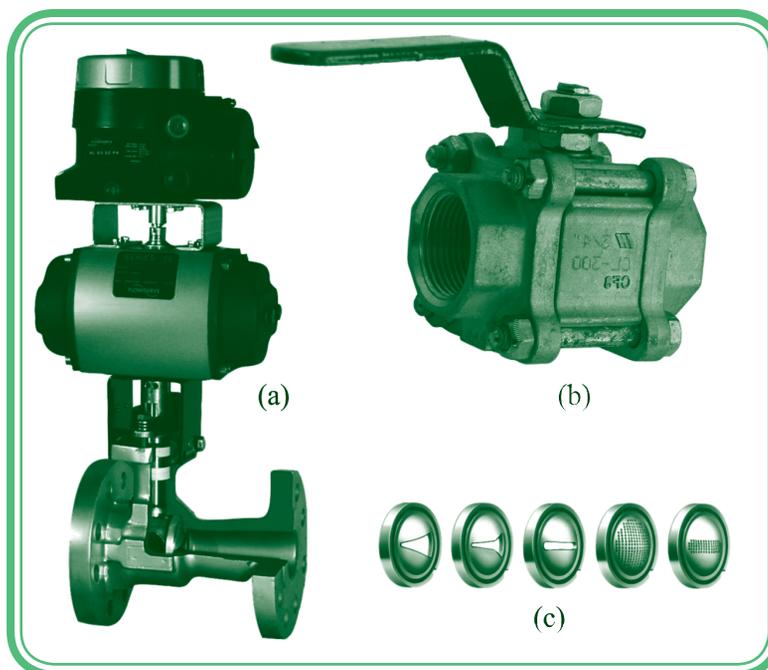


Fonte: Folheto sobre o produto PFS1...: E(P), Regulador de válvula e estilo do corpo (800) 8FISHER; 3... (54) (1) 790-1014. Brasil. Fisher Rosemount do Brasil.

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

### 7.4.3 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 como válvulas de controle, podem receber obturadores com desenho especial.



Fonte: <http://www2.flowservice.com>

**Figura 7.12: (a) Válvula esfera (em corte) com atuador pneumático; (b) Válvula esfera com atuador muscular (manual); (c) Obturadores aplicados em válvulas esfera.**



Figura 7.13: Obturador da válvula esfera

### 7.4.4 Válvula de controle tipo borboleta

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

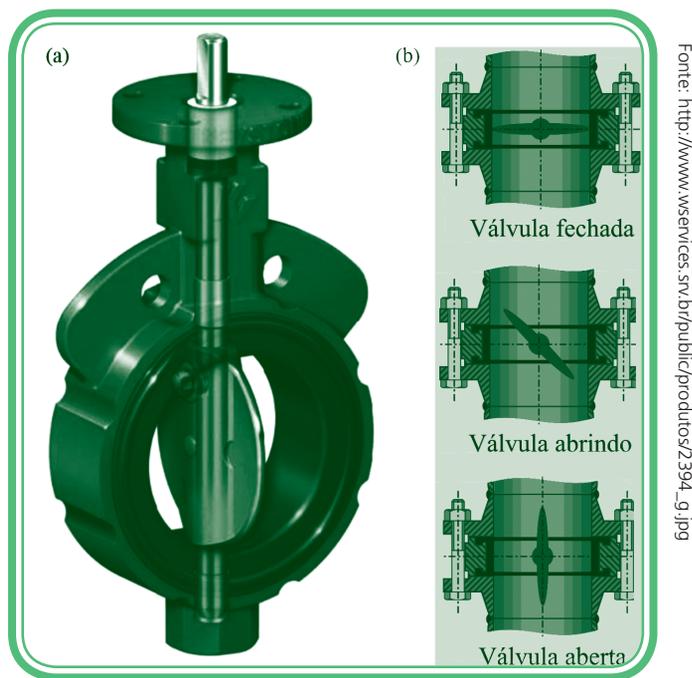


Figura 7.14: (a) Válvula de controle tipo borboleta;  
(b) Esquema da válvula tipo borboleta

## 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.





## Avaliação

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 das 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 utilizado 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?

---

---

---

# AULA 8 – Válvulas de Controle (Segunda Parte)

## Objetivos da aula

Conhecer as características das válvulas de controle e os fundamentos de seleção destas válvulas;

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 Introdução

A divisão destas aulas (7 e 8) em duas partes deve-se ao grande volume de informações exigido para compreender os processos de automação de fluidos. Nesta segunda parte veremos as características, seleção, dimensionamento e instalação das válvulas de controle.

## 8.2 Aplicações 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 características mecânicas e químicas para resistir à 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, em 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 da 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.

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.

### 8.3 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:

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



Cavitação: <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 construída 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, não consideradas 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. Isto 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 for 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”.

## **8.4 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.

### **8.4.1 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:

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

1. 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);
2. 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);
3. Linear, para controle de vazão com sensor linear, nível de pressão de gás, com variação de queda de pressão através da válvula menor que 2:1;

4. Igual percentagem, para controle de vazão linear, nível de pressão de gás, com variação de queda de pressão através da válvula maior que 2;1 e menor que 5:1;
5. 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:

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

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

## 8.5 Dimensionamentos da válvula de controle

### 8.5.1 Filosofia

O dimensionamento da válvula de controle é o procedimento de 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 Cv 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 Cv 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.

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 formulas 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.



*Bernouille:*

[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>

O dimensionamento correto da válvula, determinado por fórmulas, régua de cálculo ou programa de computador pessoal, sempre se baseia no conhecimento completo das condições reais da vazão. Frequentemente, uma ou várias destas condições são assumidas arbitrárias; 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 este 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 destes vários “fatores de segurança” pode resultar em uma válvula superdimensionada e incapaz de executar o controle desejado.

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).

Masoneilan: é uma divisão da Dresser, empresa dedicada a fluidos.  
<http://www.dresser.com/>



## 8.5.2 Válvulas para líquidos

A equação básica para dimensionar uma válvula de controle para serviço em líquido é a mesma para todos os fabricantes, conforme destaque:

$$Q = C_v f(x) \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

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.

## 8.5.3 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. Estas 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 a jusante não afeta a vazão; somente variação na pressão a montante afeta a vazão.

## 8.5.4 Queda de pressão na válvula

Deve-se entender que a válvula de controle manipula a vazão absorvendo uma queda de pressão do sistema. Esta 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.

## A-Z Glossário

### 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 dele 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 a pressão de vapor do líquido ou abaixo dela (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.

Em um sistema de redução de pressão é fácil conhecer precisamente a queda de pressão através da válvula. Isto 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 (1973) 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.

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. Esta 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.

## **8.6 Instalações 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.

### **8.6.1 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 muito alta, além do alcance do braço levantado do operador, ele terá dificuldade de alcançá-la, não poderá fechá-la totalmente e eventualmente haverá vazamento que poderá causar desgaste anormal nos seus internos.

### **8.6.2 Cuidados antes da instalação da válvula de controle**

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

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

### 8.6.3 Tensões da tubulação

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

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 se tem temperaturas criogênicas (muito baixas). Nesse caso, também deve-se prover compensação para a contração da linha



Fonte: <http://pipespecialties.com/fiber-glass-pipe/about/>

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

#### a) 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. Estes 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.

#### 8.6.4 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.

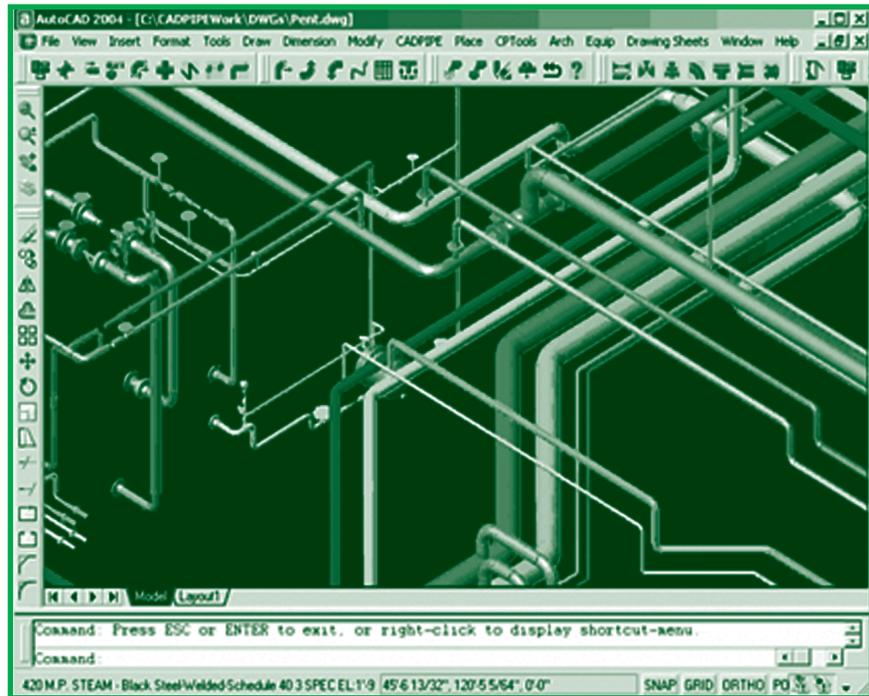
Quando instalar a válvula, é preciso garantir que todas as tensões da tubulação não sejam transmitidas a ela. A válvula não deve suportar o peso da linha. A distorção por esta causa resulta em operação ineficiente, obstrução e a necessidade de manutenção frequente. Se a válvula possuir flanges, será 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. Estas sujeiras, se presas, podem eventualmente arruinar a haste interna ou os filetes de rosca.

Para o desenho de tubulações que possuem válvula de controle são utilizados *softwares* como o AutoCAD (Figura 8.2).



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

Figura 8.2: Tubulações no AutoCAD



## Resumo

Nesta 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, estes componentes devem ser intensamente estudados. Além das válvulas de controle, também será importante estudar as tubulações propriamente ditas e seus componentes.



## Avaliação

1. Cite três funções das válvulas de controle.
2. Quais são as características quanto ao tipo das válvulas de controle?
3. As características das válvulas de controle são aceitáveis quando: (cite duas características).
4. Por que calculamos o  $C_v$  das válvulas de controle?
5. Qual a definição de  $C_v$ ?

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 tomar antes da instalação da válvula de controle.
9. Quais os cuidados ou procedimentos exigidos na instalação da válvula de controle?

## REFERÊNCIAS

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.

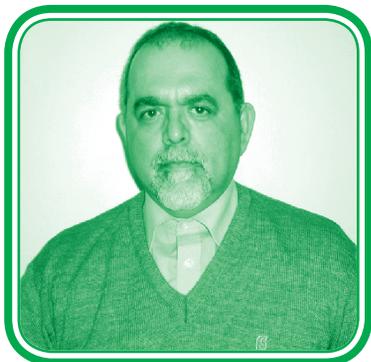
HELFRICK, A.D.; COOPER, W.D. **Instrumentação eletrônica moderna e técnicas de medição**. São Paulo: Ed. Prentice-Hall do Brasil, 1994.

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.

LOUREIRO ALVES, J.L.. **Instrumentação controle e automação de processos**. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

LUYBEN, W. L. **Process modeling, simulation and control for chemical engineers**. New York: McGraw-Hill, 1973.

## CURRÍCULO SINTÉTICO DO PROFESSOR-AUTOR



Sergio Adalberto Pavani é Professor do CTISM, atuando em diversas áreas, com foco em automação e pneumática. Formado em Engenharia de Operações pela PUC/RS (1980), com 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 profissio-

nais na área de projeto naval (máquinas e tubulações) ainda como técnico, em 1975.

Em 1979, era 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 km² 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.

