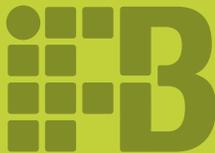


CADERNO DE AULAS PRÁTICAS DA

# Instrumentação Industrial

REDE FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
PROFISSIONAL, CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

EDITORA



**Presidente da República Federativa do Brasil**

Michel Temer

**Ministro de Estado da Educação**

José Mendonça Bezerra Filho

**Secretária-Executiva**

Maria Helena Guimarães de Castro

**Secretária de Educação Profissional e Tecnológica**

Eline Neves Braga Nascimento

**Diretor de Integração das Redes de Educação Profissional e Tecnológica**

Gustavo Maurício Estevão de Azevedo

**Diretor de Políticas de Educação Profissional e Tecnológica**

Valdeci Carlos Tadei

**Diretor Substituto de Desenvolvimento da Rede Federal de  
Educação Profissional, Científica e Tecnológica**

Romero Portella Raposo Filho

CRÉDITOS

## **Conselho Editorial da Editora IFB**

Conceição de Maria C. Costa  
Daniele dos Santos Rosa  
Edilsa Rosa da Silva  
Eduardo Vieira Barbosa  
Gabriel Andrade L. de A. Castelo Branco  
Glaucio Vaz Feijó  
Gustavo Danicki A. Rosa  
Julianne R. A. da Silva  
Katia Guimarães Sousa Palomo  
Mari Neia V. Ferrari  
Maria Eneida Matos da Rosa  
Mateus Gianni Fonseca  
Rafael Costa Guimarães  
Wákila Nieble R. de Mesquita

## **Coordenação Editorial**

Katia Guimarães Sousa Palomo

## **Produção Executiva**

Claudia Regina Cançado Sgorlon Tininis  
Eronildes Pinheiro da Rocha  
Makfferismar dos Santos  
Nilva Celestina do Carmo  
Norivan Lustosa Lisboa Dutra  
Oiti José de Paula  
Romilda de Fátima Suinka de Campos  
Sandra Maria Branchine

## **Revisão**

Guilherme João Cenci

## **Projeto Gráfico e Diagramação**

Aureliano Machado da Silva  
Charles Baman Medeiros de Souza  
Izaac da Silva Almeida  
Gabriel Felipe Moreira Medeiros  
Rodrigo Lucas Mendes

## **Ilustrações**

Charles Baman Medeiros de Souza

2016 Editora IFB



A exatidão das informações, as opiniões e os conceitos emitidos nos capítulos são de exclusiva responsabilidade dos autores. Todos os direitos desta edição são reservados à Editora IFB. É permitida a publicação parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte. É proibida a venda desta publicação.



SGAN 610, Módulos D, E, F e G  
CEP: 70830-450 – Brasília-DF  
Fone: +55 (61) 2103-2108  
[www.ifb.edu.br](http://www.ifb.edu.br)  
E-mail: [editora@ifb.edu.br](mailto:editora@ifb.edu.br)

**CADERNOS DE AULAS PRÁTICAS DA REDE FEDERAL  
DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL, CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA**

<b>Curso</b>	<b>Instituição Ofertante</b>
Cafeicultura	<b>Instituto Federal do Sul de Minas Gerais</b> <i>Campus Machado</i>
Instalações Elétricas	<b>Instituto Federal de Santa Catarina</b> <i>Campus Florianópolis</i>
Instrumentação Industrial	<b>Instituto Federal do Espírito Santo</b> <i>Campus Serra</i>
Materiais de Construção	<b>Instituto Federal de Brasília</b> <i>Campus Samambaia</i>
Tornearia	<b>Instituto Federal da Paraíba</b> <i>Campus João Pessoa</i>

Ficha catalográfica elaborada pelo bibliotecário  
Rafael Costa Guimarães – CRB 1/2822

B823c

Brasil. Ministério da Educação.

Caderno de aulas práticas da instrumentação industrial /  
Ministério da Educação, Secretaria de Educação Profissional  
e Tecnológica. -- Brasília: Editora IFB, 2016.

226 p. : il.

(Cadernos de aulas práticas da Rede Federal de Educação  
Profissional, Científica e Tecnológica).

Inclui referências.

ISBN: 978-85-64124-43-1

1. Instrumentos industriais. 2. Metrologia. I. Título.

CDU: 681.2

A educação profissional e tecnológica (EPT) deve ocupar lugar de destaque na agenda brasileira. Assim como ocorre em diversos países, ela deve contribuir de forma estratégica para o desenvolvimento econômico e social do país.

De acordo com dados do Centro Europeu para o Desenvolvimento da Educação Profissional, os países da União Europeia apresentam uma taxa média de 49% de estudantes do Ensino Secundário também matriculados na Educação Profissional. No Brasil, para o mesmo público, esse número não chega aos 10%. É preciso que a educação profissional aprimore a sua qualidade e amplie a sua atratividade e prestígio junto aos jovens. Ela deve possibilitar a formação profissional, científica e humanística, a cultura da inovação e o aumento da produtividade do trabalho, o que contribuirá para o desenvolvimento econômico e social do país.

Nesse sentido, o Plano Nacional de Educação (PNE) apresenta metas desafiadoras para a educação profissional. Até 2024, o Brasil deverá triplicar o número de matrículas em cursos técnicos e garantir a oferta de no mínimo 25% das vagas aos estudantes jovens e adultos em cursos articulados ao ensino profissional, sendo garantida a qualidade educacional.

Os Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia possuem papel estratégico nesse cenário. Em pouco mais de uma década, saltamos de 140 para 562 unidades. Hoje, os Institutos Federais e as demais instituições que integram a Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica estão presentes em 78% das microrregiões brasileiras. Em 2015, ultrapassamos a marca de 700 mil matrículas em cursos técnicos de nível médio, em cursos tecnológicos, em cursos de qualificação profissional, em licenciaturas, em bacharelados e em pós-graduações. Em alguns anos, esta rede atenderá mais de um milhão de estudantes.

Os Institutos Federais também possuem um papel central no Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego (Pronatec). De 2011 a 2015, mais de 9 milhões de brasileiros foram atendidos em cursos gratuitos de educação profissional, numa forte articulação entre instituições de ensino e parceiros demandantes, o que permitiu a articulação da educação profissional com outras políticas públicas.

A criação de soluções pedagógicas inovadoras, de materiais didáticos e de objetos de aprendizagem têm lugar de destaque nesta agenda. Por meio do Plano de Formação Continuada dos Servidores da Rede Federal (PLAFOR), a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (Setec) do Ministério da Educação iniciou, em 2014, o Programa de Capacitação em Aulas Práticas, que promove formação continuada de professores, intercâmbio de experiências em práticas de ensino e práticas em laboratório, contribuindo para a atualização profissional, didática e tecnológica e levando novas possibilidades ao trabalho pedagógico.

Em sua primeira etapa, o processo de capacitação envolveu cinco cursos: Cafeicultura, Materiais de Construção, Instalações Elétricas, Instrumentação Industrial e Tornearia. Como resultado das discussões entre os professores participantes, foram organizados os Cadernos de Aulas Práticas da Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica. Estes cadernos apresentam as informações essenciais a respeito de cada curso ofertado, incluindo o planejamento, a organização e a implementação das aulas práticas, abrindo caminho para a continuidade do trabalho colaborativo entre as instituições da Rede Federal.

Caro(a) Professor(a), esperamos que você faça bom uso deste Caderno como instrumento de apoio à sua prática pedagógica!



**09** CAPÍTULO 1  
Conceitos gerais

**31** CAPÍTULO 2  
Implementação de controladores on-off, proporcional e proporcional integral numa planta de nível

**41** CAPÍTULO 3  
Sensores capacitivos

**49** CAPÍTULO 4  
Sensores indutivos

**57** CAPÍTULO 5  
Sensores mecânicos e magnéticos

**69** CAPÍTULO 6  
Sensores ópticos

**79** CAPÍTULO 7  
Termostatos e pressostatos

**87** CAPÍTULO 8  
Sensores de temperatura

**111** CAPÍTULO 9  
Ajuste e aplicação de um transmissor de pressão analógico

**122** CAPÍTULO 10  
Medição de nível

**132** CAPÍTULO 11  
Transdutores de torque e força

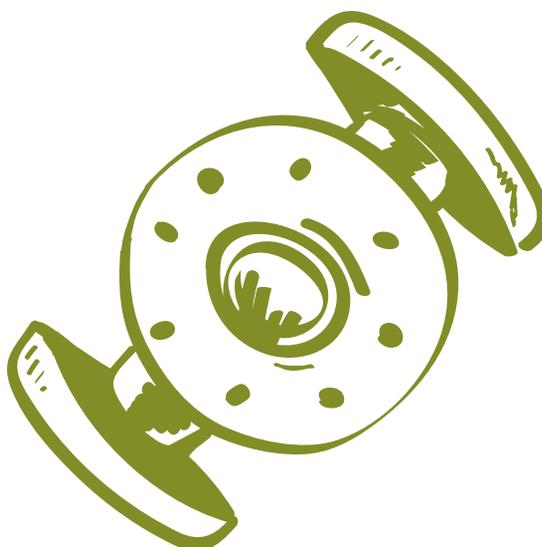
**151** CAPÍTULO 12  
Ajuste de um transmissor de pressão HART

**164** CAPÍTULO 13  
Configuração básica e ajuste de um instrumento *Fieldbus Foundation*

**182** CAPÍTULO 14  
Válvula de controle

**203** CAPÍTULO 15  
Simbologia

**215** CAPÍTULO 16  
Instrumentação analítica





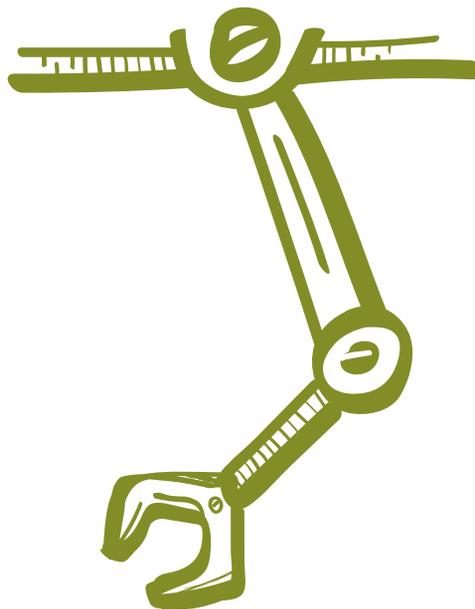
# CAPÍTULO 1

-

# CONCEITOS GERAIS

**Autor:**

Leonardo Moreira Leódidio



# 1 CONCEITOS



No dia a dia, o ser humano constantemente realiza medições de grandezas físicas, como o tempo de cozimento no micro-ondas, a velocidade do carro, o volume de combustível, a massa de um alimento, além das medições intuitivas essenciais ao dia a dia, como a passada para regular a marcha humana, o impulso necessário para vencer um obstáculo, a distância até um objeto ou destino, a força com que se deve segurar objetos, a força e o ângulo com que se deve bater em um bola para atingir o gol, entre outras. Além dessas, destacam-se também as medições nos processos industriais, na agricultura, no comércio ou em pesquisas científicas, ou seja, o ato de medir é o que permite quantificar os fenômenos que cercam toda a atividade humana e, com isso, pode-se dizer que foi essencial no modo como se construiu o mundo atual.

Os métodos de medição evoluíram conjuntamente com o desenvolvimento do homem, iniciando-se com a contagem rudimentar de elementos do cotidiano, passando para descrições de certas quantidades (utilizando como referências recipientes e a anatomia do corpo humano), até a definição de unidades estáveis e bem definidas. O desenvolvimento dos métodos de medição sempre aconteceu quando os métodos atuais se mostraram insuficientes para caracterizarem o fenômeno a ser medido e, como a evolução é constante, cada vez mais exigem-se sistemas e procedimentos de medição mais confiáveis. Vale destacar que um sistema de medição pode ser composto de apenas um instrumento e de vários dispositivos que realizam a medição e indicam o resultado.

A ciência que se dedica ao estudo da medição é a Metrologia, que, segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012), é a ciência que engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação. Entre os benefícios advindos da evolução e da adoção de um sistema de metrologia, destacam-se a harmonização e a normalização de conceitos, unidades, procedimentos, tolerâncias, ajustes, entre outras características dos processos de medição. Entre os trabalhos de normalização, destaca-se o VIM, que surgiu na metade do século passado com o objetivo de harmonizar os conceitos e terminologias utilizados na metrologia e na instrumentação. O Brasil, como signatário da Convenção do Metro, tem o VIM como um instrumento oficial para conceitos e terminologias relacionados à metrologia. A versão brasileira mais recente do VIM foi publicada em 2012 pelo INMETRO, por meio da Portaria nº 232, de 08 de maio de 2012. O advento do VIM permitiu uniformizar os conceitos metrológicos e, com isso, reduzir erros de interpretação relacionados a traduções e a aplicações incorretas dos conceitos. Muitas das definições apresentadas chocam-se com o “jargão técnico” e podem, no começo, provocar um certo desconforto nos profissionais da área, mas, após a familiarização e compreensão dos conceitos, há uma melhora significativa no entendimento dos procedimentos e das instruções técnicas e na aplicação dos conceitos no dia a dia do profissional.

Para que uma grandeza física possa ser quantitativamente determinada, é necessário realizar a seleção do sistema de medição mais adequado, ou seja, é necessário conhecer as características e os conceitos metrológicos que definem a seleção e a utilização do sistema de medição. Dependendo de como varia a grandeza física, as medições podem ser divididas em estáticas/quase-estáticas ou dinâmicas. Essa classificação não depende simplesmente da natureza da grandeza física medida, mas de como essa grandeza varia no tempo. Os principais conceitos metrológicos são válidos para ambos os tipos de medição; entretanto, há particularidades e conceitos específicos que devem ser observados na execução e na análise para cada tipo de medição.



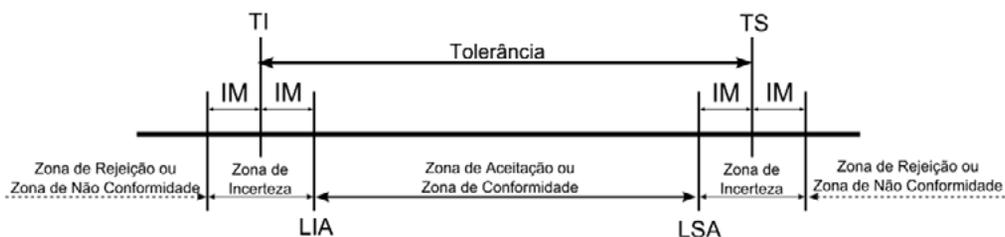
A medição estática/quase-estática é mais difundida e utilizada no cotidiano industrial e científico e tem como característica principal um mensurando que não varia, ou que varia de forma lenta, ou que seja constituído de uma sucessão de estados de equilíbrio. A medição dinâmica é caracterizada pela variação rápida do mensurando, independentemente de ser periódica ou aperiódica.

Um dos conceitos metrológicos fundamentais aos dois tipos de medição é a definição da incerteza de medição, que caracteriza a dispersão dos valores atribuídos a um mensurando (VIM, 2012), inclui os componentes que influenciam a medição e é associada à utilização do instrumento/sistema de medição em uma aplicação prática. Não se deve confundir esse conceito com a incerteza de medição instrumental (item 4.24 do VIM, 2012), obtida a partir de um processo de calibração e informada no certificado de calibração e que será um dos componentes utilizados para o cálculo da incerteza de medição.

Segundo o item 2.39 do VIM, o processo de calibração é a operação que estabelece, “numa primeira etapa, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações” do instrumento/sistema de medição e que, numa segunda etapa, utiliza essa relação “para estabelecer uma relação visando à obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação”. Calibração e ajuste não devem ser confundidos. O primeiro define as características metrológicas, e o segundo envolve operações de manutenção, reparação, troca de peças e ajustes mecânicos, eletroeletrônicos. Dessa forma, toda vez que o instrumento/sistema passar por ajustes, a calibração deve ser refeita para que sejam conhecidas as novas características metrológicas.

No cotidiano técnico, com base nas informações metrológicas e na demanda quanto à tolerância, é necessário criar um critério de aceitação do resultado do instrumento/sistema de medição em sua aplicação prática. Para definição desse critério, utilizam-se a tolerância (T) e a incerteza de medição (IM) para determinar a zona de aceitação ou a zona de conformidade, que é definida como o intervalo dentro do qual o resultado de medição deve estar para que o mesmo seja aprovado. A Figura 1.1 mostra esquematicamente a definição de tolerância, zona de aceitação e zona de rejeição.

**Figura 1.1** – Desenho esquemático do critério de aceitação de uma medida. TI – limite inferior da tolerância; TS – limite superior da tolerância.



Definida a incerteza de medição, a zona de aceitação é delimitada pelo limite inferior de aceitação (LIA) e pelo limite superior de aceitação (LSA), que são definidos pelas seguintes equações:

$$LIA = TI + IM \quad \text{Equação 1.1}$$

$$LSA = TS - IM \quad \text{Equação 1.2}$$

Em termos práticos, quando não há informações suficientes, ou como uma primeira aproximação na seleção de instrumento/sistema de medição, pode-se utilizar a abordagem da Regra



de Ouro da Metrologia, que também é conhecida como critério de TONKS ou Regra de Georg Berndt. Essa regra estima a incerteza de medição instrumental máxima admitida ( $u$ ) a partir da tolerância especificada ( $t$ ), conforme define a equação 3-1:

$$u = \frac{t}{10} \tag{Equação 1.3}$$

Com prejuízo para a seleção e para a confiabilidade metrológica do processo de medição, em alguns casos pode-se flexibilizar a relação adotando-se  $t/5$ ,  $t/4$  ou  $t/3$ .

Juntamente com a regra de ouro da metrologia, há outra regra prática que serve como uma primeira aproximação para a seleção de um instrumento/sistema de medição a partir de sua resolução. Essa regra estabelece que a resolução “R” máxima seja 10 vezes menor que a tolerância “t” especificada.

$$R = \frac{t}{10} \text{ até } \frac{t}{5} \tag{Equação 1.4}$$

Vale destacar que a resolução é definida pelo VIM como sendo a menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação do instrumento/sistema de medição.

Focando especificamente na metrologia em medições dinâmicas, verifica-se que a medição de variações dinâmicas de grandezas físicas faz parte do cotidiano em diversas áreas da engenharia, como no estudo da turbulência em um motor de combustão interna, na correção do erro dinâmico, na medição da temperatura atmosférica, na detecção de cavitação em turbinas hidroelétricas, na medição dinâmica de micro-ondas em discos rígidos magnéticos, entre outros. Apesar da aplicabilidade da medição dinâmica, medir e avaliar esta variação não é trivial, devido à natureza dos fenômenos, à incorreta caracterização dinâmica e à limitação da instrumentação.

É nesse contexto que se insere a calibração dinâmica, que tem como objetivo determinar as propriedades dinâmicas e a função de transferência experimental do instrumento/sistema de medição. A função de transferência é uma característica intrínseca do transdutor e é independente do tipo e da magnitude da entrada à qual é submetido, isto é, após conhecida a função de transferência, é possível estimar a resposta do sistema a qualquer estímulo.

A Tabela 1.1 apresenta a definição de algumas características dinâmicas que podem ser determinadas a partir de uma calibração dinâmica.

**Tabela 1.1 – Características dinâmicas.**

Característica	Definição
Banda passante	É o intervalo em que o transdutor ou um sistema é capaz de medir o fenômeno.
Frequência de ressonância	É a frequência onde a amplitude da função de transferência seja máxima.
Coefficiente de amortecimento	Caracteriza a dissipação de energia do sistema.
Tempo de subida	É o tempo em que o sinal passa entre os níveis de 10% e 90% da estabilização. Em sistemas de primeira ordem, sinal em 90%.

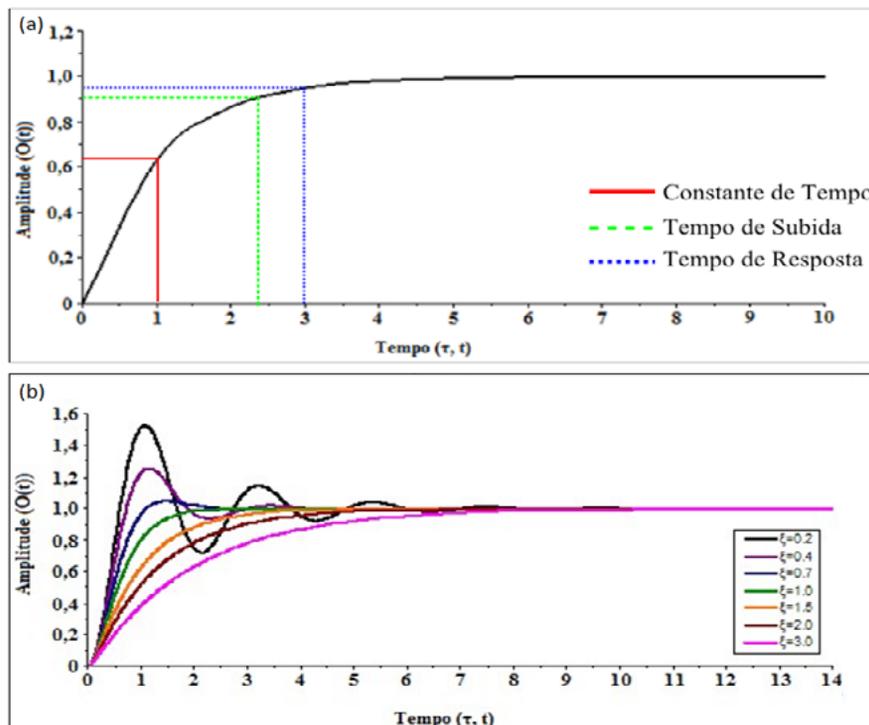


Característica	Definição
<i>Overshoot</i>	É o valor máximo alcançado pela resposta do sistema ou transdutor.
Constante de tempo	Corresponde ao tempo para a resposta atingir 63,2% do patamar de estabilização.
Tempo de resposta (VIM 4.23)	É o tempo compreendido entre o início da subida do sinal e a estabilização dentro de um intervalo definido $\pm \epsilon$ . Em sistema de primeira ordem, geralmente se utiliza tempo igual a 3 vezes a constante de tempo.

Os processos de calibração dinâmica envolvem procedimentos e definições complexas a fim de garantir a confiabilidade metrológica do processo. Entretanto, o princípio da calibração é simples e consiste, basicamente, em submeter o instrumento/sistema de medição a uma entrada (estímulo) conhecida, medir a sua saída (resposta) e, a partir da resposta temporal do instrumento/sistema de medição, determinar as características dinâmicas e calcular a função de transferência como uma relação entre a resposta e o estímulo. A função de transferência como uma resposta em frequência do instrumento/sistema permite estabelecer a amplitude e a fase em relação à entrada.

O estímulo a ser utilizado pode ser periódico ou aperiódico, dependendo da natureza do instrumento/sistema de medição. A condição básica é que o estímulo tenha características metrológicas. Os procedimentos de geração do estímulo envolvem a utilização de equipamentos especiais, tais como: tubos de choque, dispositivos de abertura rápida, cubas rotativas e excitadores. Um dos estímulos mais utilizados é o degrau. As Figuras 1.2 (a) e 1.2 (b) apresentam a resposta de sistemas de primeira e segunda ordem submetidos a um degrau e a definição de algumas características dinâmicas.

**Figuras 1.2** – (a) Resposta de um transdutor de primeira ordem submetido a um degrau. (b) Resposta de um transdutor de segunda ordem submetido a um degrau.





Entre os diversos processos que compõem um processo de medição, aqui se destaca o condicionamento de sinais, que tem a função de adequar a resposta de instrumento/sistema de medição à aquisição e à análise de dados. As principais ações desempenhadas pelo condicionamento de sinais são: atenuação, amplificação, isolamento, filtragem, excitação, linearização, compensação de junção fria e montagem em ponte. Dentro do condicionamento de sinal, destacam-se três processos: adequação para transmissão através de ambientes sujeitos a perturbações elétricas, padronização do sinal elétrico que representa a grandeza medida (Ex.:  $\pm 5$  V,  $\pm 10$  V ou 4-20 mA) e conversão analógico-digital.

Os temas a seguir versarão sobre as atividades práticas que ocorrerão neste capítulo. Vale lembrar que os conceitos aqui apresentados são apenas introdutórios e que os leitores interessados em maior conhecimento devem recorrer ao material sugerido nas referências bibliográficas e a outros que julgarem convenientes.

## 2 OBJETIVOS

- Consolidar conceitos metrológicos;
- Identificar num instrumento/sistema de medição características metrológicas, com auxílio do certificado de calibração;
- Extrair de uma série, dados, informações sobre o desempenho de um instrumento de medição;
- Fazer uma leitura crítica de um certificado de calibração e determinar os critérios de aceitação;
- Determinar a função de transferência de um sistema de medição de pressão com o objetivo de verificar as características de atenuação, amplificação e defasagem da resposta do sistema de medição.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1 por aluno ou grupo	Instrumentos de medição calibrados (por exemplo, paquímetros, micrômetros, manômetros, termômetros, multímetros etc.)
2	1	Certificado de calibração do instrumento/sistema utilizado no item 1
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Software de planilha eletrônica
2	1	Computador



Atividade prática 3		
1	1	Software de planilha eletrônica
2	1	Computador
Atividade prática 4		
1	1	Software de planilha eletrônica
2	1	Computador
3	1	Dados de resposta de um sistema de medição a um degrau.

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

As atividades poderão ser desenvolvidas individualmente ou em grupos. O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos elencados no item 1.3 e que observe se todos os computadores (caso se aplique) estão em conformidade.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas quatro atividades envolvendo conhecimentos gerais sobre instrumentação e metrologia. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos.

### Atividade prática 1 – Identificação das características de um instrumento

Distribuir em cada bancada ou para cada aluno um instrumento de medição, o certificado de calibração correspondente e qualquer outro material enviado pelo fabricante. De posse dos materiais, o aluno ou grupo deverá completar a Tabela 2.1, preenchendo a coluna “Características do Instrumento”. Nem todos conceitos/características estarão presentes no instrumento. Nesse caso, um exemplo deve ser preenchido. Quando a informação a ser preenchida na coluna “Características do Instrumento” não for um valor numérico, deverá ser feita a descrição da característica.

**Tabela 1.2** – Conceitos Metrológicos. \* Em alguns casos, no lugar de “intervalo”, usa-se “faixa”.

Conceito metrológico	Característica do instrumento
(VIM 3.7) <b>Transdutor de medição</b> ( <i>measuring transducer</i> ): Dispositivo utilizado em medição e que fornece uma grandeza de saída, a qual tem uma relação especificada com uma grandeza de entrada.	



Conceito metrológico	Característica do instrumento
<p>(VIM 3.8) <b>Sensor</b> (<i>sensor</i>): Elemento de um sistema de medição que é diretamente afetado por um fenômeno, corpo ou substância que contém a grandeza a ser medida.</p>	
<p>(VIM 4.3*) <b>Intervalo de indicações</b> (<i>indication interval</i>): conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas.</p>	
<p>(VIM 4.4*) <b>Intervalo nominal de indicações – Intervalo nominal</b> (<i>nominal indication interval, nominal interval, nominal range</i>): conjunto de valores compreendidos entre duas indicações extremas, arredondadas ou aproximadas, obtido com um posicionamento particular dos comandos de um instrumento de medição ou sistema de medição, e utilizado para designar esse posicionamento.</p>	
<p>(VIM 4.5) <b>Amplitude de medição – Amplitude nominal</b> (<i>range of a nominal indication interval, span</i>): valor absoluto da diferença entre os valores extremos de um intervalo nominal de indicações.</p>	
<p>(VIM 4.12) <b>Sensibilidade de um sistema de medição – Sensibilidade</b> (<i>sensitivity of a measuring system, sensitivity</i>): quociente entre a variação de uma indicação de um sistema de medição e a variação correspondente do valor da grandeza medida.</p>	
<p>(VIM 4.14) <b>Resolução</b> (<i>resolution</i>): menor variação da grandeza medida que causa uma variação perceptível na indicação correspondente.</p>	
<p>(VIM 4.15) <b>Resolução de um dispositivo mostrador</b> (<i>resolution of a displaying device</i>): menor diferença entre indicações mostradas que pode ser significativamente percebida.</p>	
<p>(VIM 4.16) <b>Limiar de mobilidade – Mobilidade</b> (<i>discrimination threshold</i>): maior variação do valor de uma grandeza medida que não causa variação detectável na indicação correspondente.</p>	
<p>(VIM 4.17) <b>Zona morta</b> (<i>dead band</i>): intervalo máximo no qual o valor de uma grandeza medida pode ser variado em ambas as direções sem produzir uma mudança detectável na indicação correspondente.</p>	
<p>(VIM 4.20) <b>Tendência instrumental</b> (<i>instrumental bias</i>): diferença entre a média de repetidas indicações e um valor de referência.</p>	
<p>(VIM 4.21) <b>Deriva instrumental – Deriva</b> (<i>instrumental drift</i>): Variação da indicação ao longo do tempo, contínua ou incremental, devido a variações nas propriedades metrológicas dum instrumento de medição.</p>	



Conceito metrológico	Característica do instrumento
(VIM 4.22) <b>Varição devida a uma grandeza de influência</b> ( <i>variation due to an influence quantity</i> ): diferença entre indicações correspondentes a um mesmo valor medido, ou entre valores fornecidos por uma medida materializada, quando uma grandeza de influência assume sucessivamente dois valores diferentes.	
(VIM 4.24) <b>Incerteza de medição instrumental – Incerteza instrumental</b> ( <i>instrumental measurement uncertainty</i> ): componente da incerteza de medição proveniente do instrumento de medição ou do sistema de medição utilizado.	
(VIM 4.7*) <b>Intervalo de medição</b> ( <i>measuring interval, working interval, measuring range, measurement range</i> ): conjunto de valores de grandezas da mesma natureza que pode ser medido por um dado instrumento de medição ou sistema de medição com incerteza de medição instrumental especificada, sob condições determinadas.	
Tolerância Máxima considerando a resolução e a incerteza de medição instrumental	
Tolerância Máxima considerando a Regra de Ouro da Metrologia	
(VIM 4.25) <b>Classe de exatidão</b> ( <i>accuracy class</i> ): classe de instrumentos de medição ou de sistemas de medição que satisfazem requisitos metrológicos estabelecidos, destinados a manter os erros de medição ou as incertezas de medição instrumentais dentro de limites especificados, sob condições de funcionamento especificadas.	

## Atividade prática 2 – Conceitos metrológicos

Tendo como objetivo levar o aluno a uma primeira estimativa da incerteza de medição instrumental para um ponto específico da faixa de medição, deve-se informar previamente o intervalo de confiança que será adotado. Geralmente, utiliza-se duas vezes o desvio-padrão, o que leva a uma probabilidade de 95,45%.

A Tabela 1.3 apresenta o resultado da medição de quatro instrumentos em um ponto específico da faixa de medição, utilizando um padrão cujo valor convencional, nesse ponto, é de  $10,000 \pm 0,001$  unidades. Todos instrumentos possuem as mesmas características, e as medições foram realizadas com o mesmo operador, no mesmo ambiente e em um curto espaço de tempo.

**Tabela 1.3 – Dados experimentais.**

A		B	
Repetição	Indicação	Repetição	Resultado
1	10,10	1	10,00
2	10,12	2	10,04
3	10,10	3	9,96
4	10,08	4	10,10
5	10,14	5	10,08
6	10,16	6	9,90
7	10,10	7	10,06
8	10,06	8	10,00
9	10,04	9	9,92
10	10,08	10	9,96
C		D	
Repetição	Resultado	Repetição	Resultado
1	10,00	1	10,10
2	10,02	2	10,12
3	9,98	3	10,10
4	10,00	4	10,08
5	10,00	5	10,12
6	10,02	6	10,10
7	10,02	7	10,10
8	9,98	8	10,12
9	9,98	9	10,08
10	10,00	10	10,08

Utilizando os dados da Tabela 1.3, preencher a Tabela 1.4 observando a definição do conceito metrológico apresentado. Para facilitar os cálculos, o preenchimento da Tabela 1.4 e a comparação entre os instrumentos, é necessário preencher a Tabela 1.5 para cada instrumento de medição.

Tabela 1.4 – Propriedades do instrumento de medição

Definição do VIM	Instrumento			
	A	B	C	D
(VIM 2.12) <b>Valor convencional de uma grandeza</b> ( <i>conventional value</i> ): valor atribuído a uma grandeza por um acordo, para um dado propósito.				
(VIM 4.20) <b>Tendência instrumental</b> ( <i>instrumental bias</i> ): diferença entre a média de repetidas indicações e um valor de referência.				
(VIM 2.53) <b>Correção</b> ( <i>correction</i> ): compensação de um efeito sistemático estimado. A correção © é estimada ( $C = - \text{Tendência Instrumental}$ ).				
(VIM 2.30) <b>Incerteza-padrão</b> ( <i>standard measurement uncertainty</i> ): incerteza de medição expressa na forma de um desvio-padrão.				
(VIM 2.38) <b>Fator de abrangência</b> ( <i>coverage factor</i> ): número maior do que um pelo qual uma incerteza padrão combinada é multiplicada para se obter uma incerteza de medição expandida. Geralmente, utiliza-se o coeficiente t de Student como fator de abrangência. O coeficiente é estimado a partir da probabilidade e dos graus de liberdade (total de repetições “n” menos 1; $n-1$ ).				
(VIM 2.21) <b>Repetibilidade de medição – Repetibilidade</b> ( <i>repeatability</i> ): precisão de medição sob um conjunto de condições de repetibilidade. A repetibilidade de medição pode ser estimada como a multiplicação da incerteza-padrão pelo fator de abrangência ( $Re = t \cdot u$ ).				



**Tabela 1.5** – Tabela de análise dos dados. Indicação corrigida: é a soma da indicação mais a correção, em que a indicação é definida como o valor fornecido por um instrumento de medição ou por um sistema de medição (VIM 4.1).


Repetição	Indicação	Correção	Indicação corrigida
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Média			
Desvio-padrão			
Fator de abrangência			
Repetibilidade			

### Atividade prática 3 – Certificado de calibração e critério de aceitabilidade

A seguir, apresenta-se um exemplo de certificado de calibração, que foi montado tendo como referência um certificado emitido por um laboratório da Rede Brasileira de Calibração (RBC).

**LABORATÓRIO DE METROLOGIA**  
REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 12345/14**



**1. Cliente (Ordem de Serviço: 001.111):**

Industria de Produtos Industriais LTDA  
Rua da Industria, s/nº, Brasil.

**2. Identificação do Sistema de Medição à Calibrar (SMC)**

Manômetro  
Fabricante: Pressão  
Modelo: M-01  
Nº de Série: 99999  
Faixa Nominal: 0 – 40 kgf/cm<sup>2</sup>  
Resolução: 0,10 kgf/cm<sup>2</sup>

**3. Objetivo e Procedimento de Calibração**

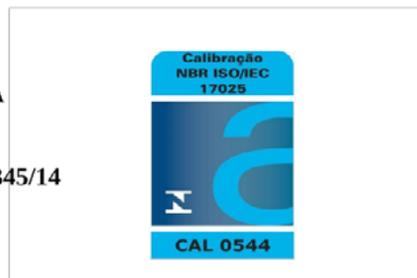
Calibração completa de manômetro, executado dentro dos padrões e das normas vigentes. O objeto mencionado acima foi calibrado de acordo com o Procedimento Técnico PQ-CM1- "Calibração Estática de Manômetro", 1ª edição, 2ª revisão, baseado nas normas técnicas ASME B40.1-1991 - Gauges - Pressure Indicating Dial Type - Elastic Element e NBR 14105 - 1998 - "Manômetros com sensor de elemento elástico - Recomendações de fabricação e uso". Os valores indicados pelo manômetro foram verificados comparativamente com a indicação do manômetro padrão. Sendo executado dois ciclos de medição.

**4. Identificação do Sistema de Medição Padrão (SMP)**

Manômetro Padrão Nº Série 0111111  
Certificado de Calibração RBC Nº 011/14 – Lab. Metrologia – Validade 31/12/2015  
Incerteza Expandida: 0,01 kgf/cm<sup>2</sup>  
Fator de Abrangência: 2,00



**LABORATÓRIO DE METROLOGIA**  
 REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO  
**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 12345/14**



**5. Condições Ambientais na Calibração**

Temperatura Ambiente: 20,5°C  
 Aceleração da Gravidade Local: 9,7905439 m/s<sup>2</sup> ± 0,0000005 m/s<sup>2</sup>

**6. Resultados da Calibração**

SMC [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Dados Coletados			
	SMP [kgf/cm <sup>2</sup> ] (Valores corrigidos)			
	Ciclo 1		Ciclo 2	
	Carregamento	Descarregamento	Carregamento	Descarregamento
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,00	10,05	10,05	10,05	10,05
20,00	20,33	20,07	20,07	20,07
30,00	30,25	30,25	30,25	30,25
40,00	39,86	39,86	39,86	39,86

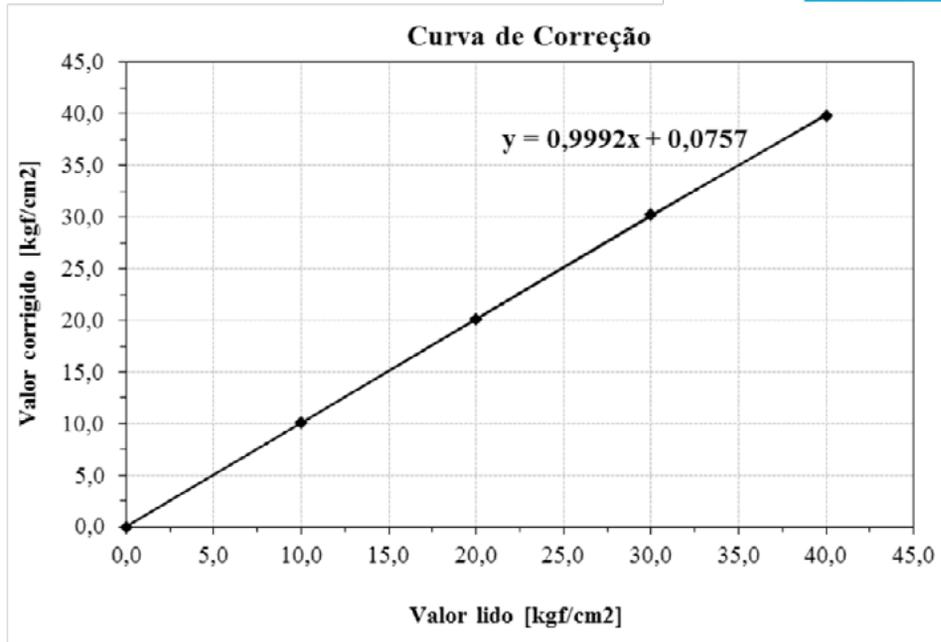
SMP [kgf/cm <sup>2</sup> ] Valores Médios	Dados Resumidos		SMC [kgf/cm <sup>2</sup> ] Repetibilidade	
	SMC [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Tendência SMC [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Carregamento	Descarregamento
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10,05	10,00	-0,05	0,00	0,00
20,13	20,00	-0,13	0,26	0,00
30,25	30,00	-0,25	0,00	0,00
39,86	40,00	0,14	0,00	0,00

**Características Metrológicas do Sistema de Medição à Calibrar:**

Erro Máximo Admissível: 0,51 kgf/cm<sup>2</sup>  
 Repetibilidade Máx.: 0,26 kgf/cm<sup>2</sup>  
 Incerteza Expandida: 0,12 kgf/cm<sup>2</sup>



LABORATÓRIO DE METROLOGIA  
REDE BRASILEIRA DE CALIBRAÇÃO  
CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº 12345/14



### 7. Observações

a. A incerteza expandida relatada é baseada na incerteza combinada multiplicada por um fator de abrangência para um nível de confiança de aproximadamente 95 %  $k = 2$ . Ela inclui os efeitos de dispersão de medidas, incertezas do SMP, histerese e resolução do SMC. As incertezas foram calculadas de acordo com o procedimento de Cálculo de Incerteza Interno PCI-01 "Incerteza de Calibração Estática de Manômetro", 1ª edição, 2ª revisão.

b. Conversão de unidades:  $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 1,02 \text{ kgf/cm}^2 = 14,5 \text{ psi} = 14,5 \text{ lb/in}^2$ .

Brasil, 08 de dezembro de 2014

\_\_\_\_\_  
José Padrão Técnico  
Gerente Técnico

\_\_\_\_\_  
João Qualificado  
Gerente da Qualidade

Data da Calibração: 08/12/2014

Data da Emissão: 08/12/2014

Página 3 de 3



Este manômetro será utilizado para medir a pressão em um processo cuja pressão é constante em  $25,00 \pm 1,5$  kgf/cm. O metrologista da empresa, de posse do certificado de calibração, calculou a incerteza de medição em  $0,25$  kgf/cm<sup>2</sup>, que engloba todos os componentes que influenciam no desempenho do instrumento, tais como: as características de mensurando, a incerteza de medição instrumental e a influência das variáveis ambientais. Considerando esses dados e após a leitura do certificado de calibração, preencher a Tabela 1.6, observando as definições dos conceitos metrológicos.

**Tabela 1.6** – Análise do certificado de calibração.

Definição	Valor/Descrição
Tendência instrumental	
Correção	
Incerteza de medição instrumental	
Fator de abrangência	
Resolução	
Tolerância máxima quanto à resolução (1:10)	
Tolerância máxima quanto à incerteza instrumental	
Incerteza de medição	
Tolerância superior	
Tolerância inferior	
Limite superior de aceitação (LSA)	
Limite inferior de aceitação (LIA)	

## Atividade prática 4 – Introdução à metrologia dinâmica

Para apresentar a determinação das características de dinâmicas, pode-se utilizar qualquer resultado de um sistema de segunda ordem submetido a um degrau. Como exemplo, foram utilizados os dados de um ensaio em pressão, realizado com um transdutor piezoelétrico que foi submetido a degrau de pressão em um tubo de choque. Como os dados devem ser tratados estatisticamente, o ensaio foi, para isso, repetido quatro vezes.

Utilizando os dados em um *software* de planilha eletrônica, seguir os passos abaixo para determinar as características dinâmicas.

a) Preencher toda a coluna Tempo considerando a taxa de amostragem da aquisição. No exemplo, a taxa de amostragem foi de 2.000 Hz (Figura 1.3):

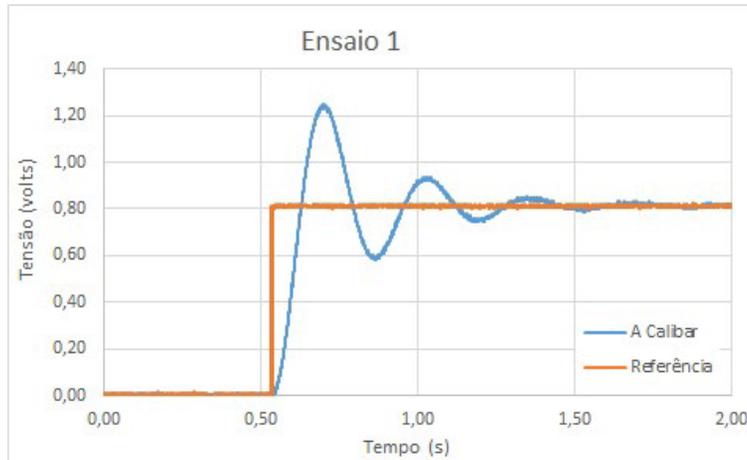
Figura 1.3 – Apresentação dos dados.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1			Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Ensaio 4	
2	Tempo		A Calibar	Referência									
3	0,0000		0,000	0,010		0,005	-0,005		0,000	0,005		0,000	0,005
4	0,0005		-0,005	0,005		-0,005	0,000		0,000	0,005		-0,005	0,000
5	0,0010		0,005	0,010		0,005	0,000		0,000	0,005		0,005	0,000



b) Plotar as respostas temporais de cada ensaio, como mostra o exemplo abaixo (Figura 1.4):

Figura 1.4 – Resposta temporal do ensaio 1.



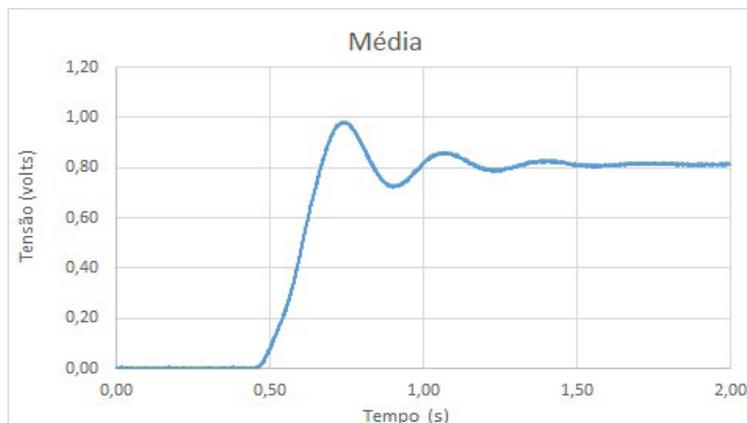
c) Calcular a média e o desvio-padrão entre quatro ensaios (Figura 1.5):

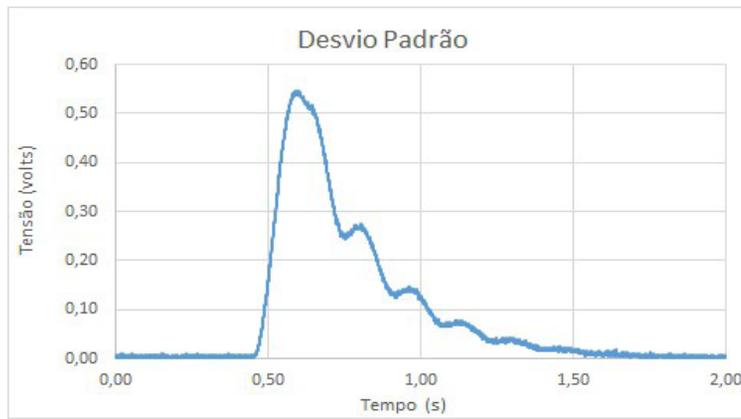
Figura 1.5 – Dados com cálculo da média e do desvio-padrão.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1			Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			Ensaio 4		Média		Desvio Padrão		
2	Tempo		A Calibar	Referência	A Calibar	Referência	A Calibar	Referência										
3	0,0000		0,000	0,010		0,005	0,005		0,000	0,005		0,000	0,005	0,001	0,004	0,0025	0,0063	
4	0,0005		-0,005	0,005		-0,005	0,000		0,000	0,005		-0,005	0,000	-0,004	0,003	0,0025	0,0029	
5	0,0010		0,005	0,010		0,005	0,000		0,000	0,005		0,005	0,000	0,004	0,004	0,0025	0,0048	
6	0,0015		-0,005	0,005		0,000	0,000		0,005	0,000		0,005	0,005	0,001	0,003	0,0048	0,0029	
7	0,0020		0,000	0,005		0,005	0,005		0,000	0,005		0,000	0,005	0,001	0,005	0,0025	0,0000	
8	0,0025		0,000	0,000		0,005	0,000		-0,005	0,000		0,000	0,005	0,000	0,001	0,0041	0,0025	
9	0,0030		0,000	0,005		0,000	0,000		0,005	0,005		0,000	0,000	0,001	0,003	0,0025	0,0029	
10	0,0035		-0,005	0,005		-0,010	0,005		0,005	0,005		0,000	0,005	-0,003	0,005	0,0065	0,0000	

d) Plotar a média e o desvio-padrão, conforme Figuras 1.6:

Figuras 1.6 – (a) Média dos quatro ensaios. (b) Desvio-padrão dos quatro ensaios.





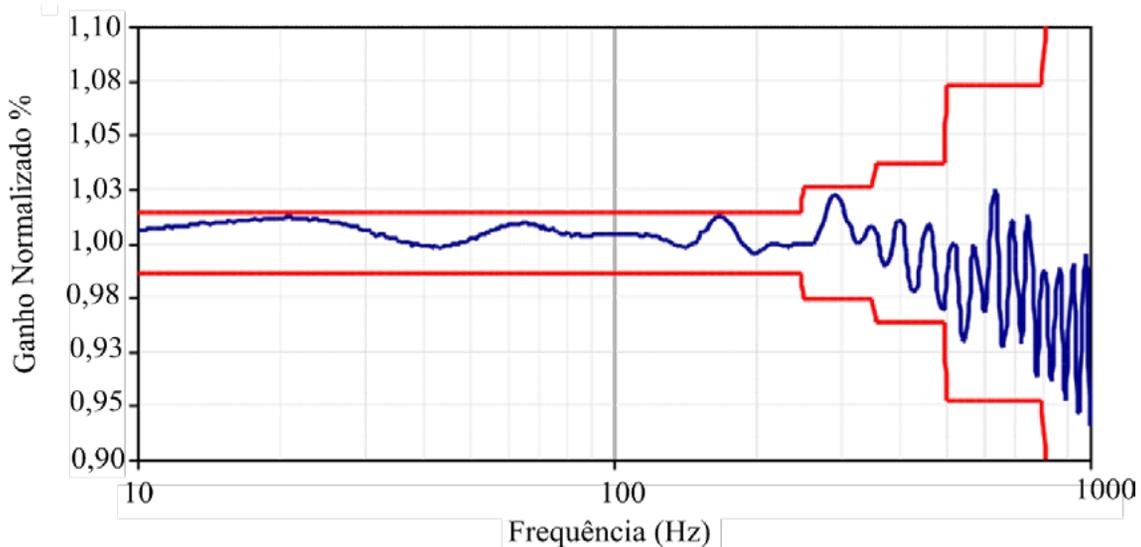
e) Utilize os recursos da planilha eletrônica para determinar sobre a média:

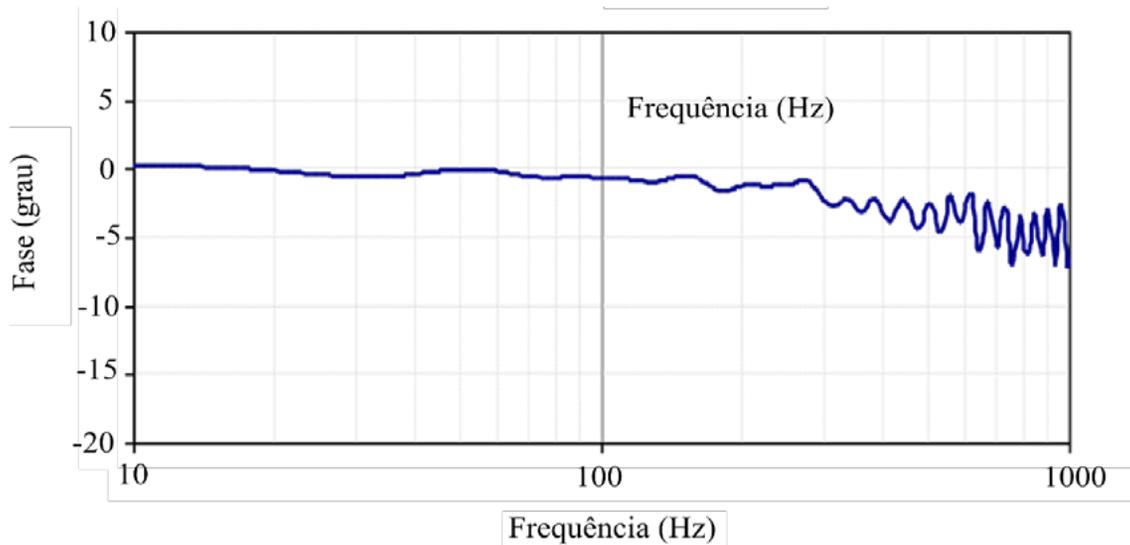
- e.1) A sobrepassagem (*overshoot*);
- e.2) A constante de tempo;
- e.3) O tempo de subida de 10% a 90%;
- e.4) O tempo de reposta a  $\pm 5\%$ .

f) A Figura 1.7 representa a função de transferência média do transdutor de pressão submetido a degrau de pressão. As linhas vermelhas representam o valor máximo da incerteza para o intervalo de frequência apresentado. Com base nessa figura e considerando os dados até a frequência onde a incerteza seja menor  $\pm 2\%$ , responda às perguntas abaixo:

- f.1) A frequência de ressonância;
- f.2) Caso esse transdutor fosse usado na frequência de 200 Hz, o sinal seria atenuado ou amplificado? E qual seria a defasagem?

**Figura 1.7** – Função de transferência de um transdutor de pressão submetido a um degrau.





## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

Nesta atividade, será utilizado o Vocabulário Internacional de Metrologia – Versão 2012. Em relação à segurança, os EPIs e EPCs deverão ser utilizados de acordo com as normas laboratoriais.

O uso de EPIs é necessário e obrigatório em todas as aulas. Além disso, realize todos os procedimentos experimentais acompanhado de outra pessoa, ou seja, nunca trabalhe sozinho.

Não fume, não coma, não beba e não durma dentro do laboratório.

Durante a aula, ouça com muita atenção as instruções do responsável ou professor;

Peça sempre autorização ao professor quando quiser modificar o procedimento previsto para execução de qualquer experimento.

Não toque em dispositivos sem prévia consulta ao professor.

Ao ligar qualquer equipamento, verifique com antecedência se a voltagem da rede corresponde à indicada no equipamento.

Não desligue qualquer interruptor elétrico sem antes verificar quais as instalações que se relacionam, direta ou indiretamente, com ele.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Identificação das características de um instrumento

- a) Qual deve ser a incerteza máxima de um transdutor de pressão que será utilizado em um processo cuja tolerância é igual a  $\pm 0,1$  bar?



- b) Qual deverá ser a resolução mínima do transdutor da questão a?
- c) Especifique a incerteza e a resolução ideal para um termômetro que será usado em um processo no qual a temperatura deve ser igual a  $90 \pm 0,1$  °C;
- d) Considerando o instrumento utilizado na atividade prática, qual será a máxima tolerância em que ele poderá ser utilizado?
- e) Um técnico informou que a pressão em determinada linha era de 10,23 bar. Sabendo que a resolução do instrumento é de 0,05 bar, essa leitura está correta? Explique.

### Atividade 2 – Conceitos metrológicos

- a) Considerando que, segundo o item 2.15 do VIM, o conceito de precisão de medição é definido como o grau de concordância entre indicações ou valores medidos, obtidos por medições repetidas, no mesmo objeto ou em objetos similares, sob condições especificadas, qual(is) instrumento(s) de medição apresenta(m) melhor precisão? Explique;
- b) Considerando que, segundo o VIM, a exatidão de medição (*measurement accuracy*) é definida como o grau de concordância entre um valor medido e um valor verdadeiro de um mensurando, qual dos instrumentos apresenta melhor exatidão? Explique;
- c) Considerando tendência instrumental como a estimativa do erro sistemático e a repetibilidade como estimativa do erro aleatório, qual dos instrumentos apresenta melhor desempenho?
- d) Após a correção, qual dos instrumentos poderia ter desempenho semelhante ao de melhor desempenho?

Na Tabela 1.7, segue o coeficiente t de Student para a estimativa da repetibilidade.

**Tabela 1.7** – Coeficiente t de Student.

Graus de liberdade	1σ 68,27%	2σ 95,45%	3σ 99,73%
1	1,84	13,97	235,81
2	1,32	4,53	19,21
3	1,20	3,31	0,22
4	1,14	2,87	6,62
5	1,11	2,65	5,51
6	1,09	2,52	4,90
7	1,08	2,43	4,53
8	1,07	2,37	4,28

9	1,06	2,32	4,09
10	1,05	2,28	3,96
11	1,05	2,26	3,85
12	1,04	2,23	3,76
13	1,04	2,21	3,69
14	1,04	2,20	3,64
15	1,03	2,18	3,59
16	1,03	2,17	3,54
17	1,03	2,16	3,51



### Atividade 3 – Certificado de calibração e critério de aceitabilidade

- Emitir parecer definindo se o instrumento de medição está ou não adequado a ser utilizado pela empresa.
- Qual a influência da tendência no cálculo dos limites superiores e inferiores de aceitação?

Observação: a seleção e o aceite de instrumentos/sistemas de medição e a definição de critérios de aceitação estão presentes em todas as aplicações que envolvam a medição de grandezas físicas.

### Atividade 4 – Introdução à Metrologia Dinâmica

- Os valores das características dinâmicas determinadas no item 5 podem ser considerados como um resultado de medição ou uma estimativa? Explique.
- Calcule as características dinâmicas para cada ensaio e compare com o valor encontrado para a média.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTAZZI A. G. Jr.; SOUSA A. R. de. **Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial**. São Paulo: Manole.

DAMION, J. P. **Means of Dynamic Calibration for Pressure Transducer**. *Metrologia*, vol. 30. p. 743-746.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia**: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. Rio de Janeiro: Inmetro.

LEÓDIDO, L. M. **Contribuição à Calibração Dinâmica de Transdutores de Pressão em Altas Pressões**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasília.

LIRA, F. A. de. **Metrologia na Indústria**. São Paulo: Érica.

SCHWEPPE, J. L. et al. **Methods for the Dynamic Calibration of Pressure Transducers**. National Bureau of Standards Monograph 67, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., EUA.

SYDENHAM, P. H. **Static and Dynamic Characteristics of Instrumentation**. In: *Measurement Instrumentation Transducers Handbook*, Capítulo 3, CRC Press, Estados Unidos.



# CAPÍTULO 02

—

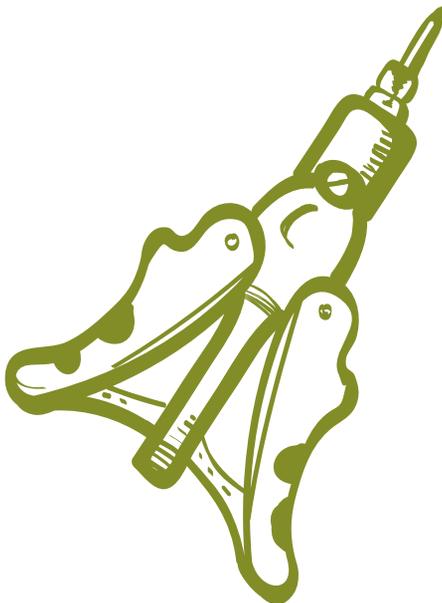
## IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLADORES ON-OFF, PROPORCIONAL E PROPORCIONAL INTEGRAL NUMA PLANTA DE NÍVEL

**Autores:**

Gustavo Maia de Almeida

Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

Rogério Passos do Amaral Pereira.

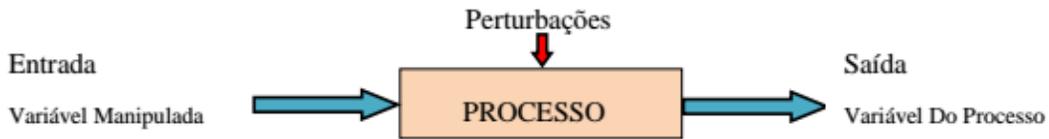


# 1 CONCEITO



Um processo é representado por um bloco com uma entrada e uma saída, como se mostra na Figura 2.1. A variável do processo (VP) é alterada através da mudança da variável manipulada (VM). Entretanto, também é afetada por ações inerentes ao processo ou por outras ações externas chamadas de perturbações.

**Figura 2.1** – Representação de um processo.



Malha de controle é o conjunto dos instrumentos interligados ao processo com o objetivo de executar o controle. As malhas de controle podem ser abertas ou fechadas.

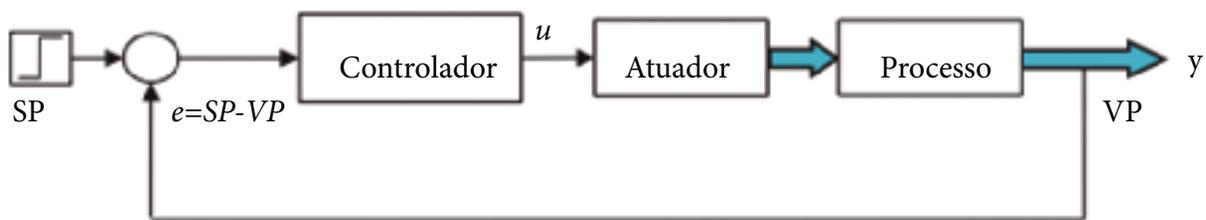
Malha aberta é aquela em que a ação de controle não depende da saída (Figura 2.2), isto é, a saída do processo (variável do processo) não tem efeito na ação de controle (saída do controlador).

**Figura 2.2** – Malha aberta.



Malha fechada é aquela em que a ação de controle depende da saída (Figura 2.3), isto é, a saída do processo tem efeito na ação de controle. Nesse tipo de sistema, a saída é sempre medida e comparada com a entrada, com o objetivo de reduzir o erro e manter a saída no valor desejado (SP). Um exemplo típico é o controle de temperatura da água do chuveiro, pois quem está tomando o banho está medindo (sentindo) a temperatura e com esta informação controla a torneira do chuveiro para manter a água na temperatura desejada.

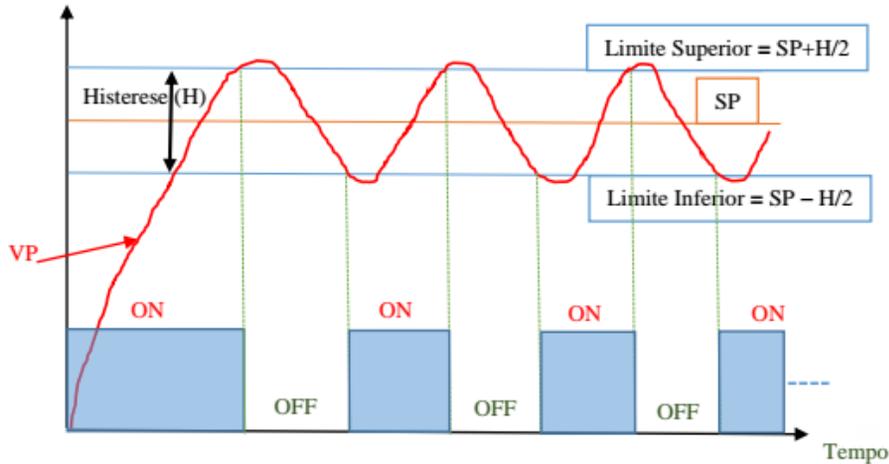
**Figura 2.3** – Malha fechada.



Na maioria dos sistemas básicos de controle em malha fechada, é utilizado o controlador PID, composto pela ação proporcional (P), ação integral (I) e ação derivativa (D). Entretanto, existem controladores mais simples; por exemplo, o controlador liga-desliga (*on/off*), chamado também de

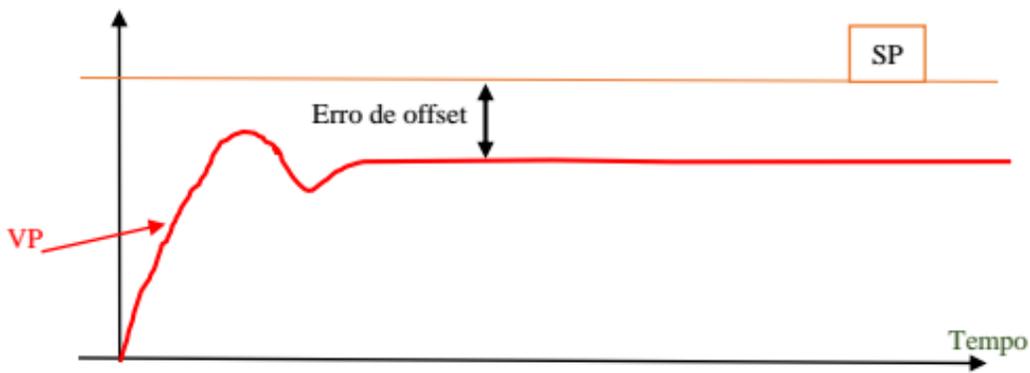
controle de histerese. Nesse controlador, o atuador tem duas ações, liga ou desliga. Quando a variável do processo for maior que o limite superior, o atuador desliga; quando a VP for menor que o limite inferior, o atuador liga. Este procedimento pode ser observado na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Controlador liga-desliga



No controlador liga-desliga, a VP oscila bruscamente em torno do SP. Para evitar esse tipo de acionamento, pode ser utilizado o controlador proporcional, conforme Figura 2.5. Entretanto, o controlador proporcional não elimina o erro de *offset*. A saída do controlador proporcional é igual ao erro multiplicado por um ganho ( $u = K_p \cdot \text{erro}$ ).

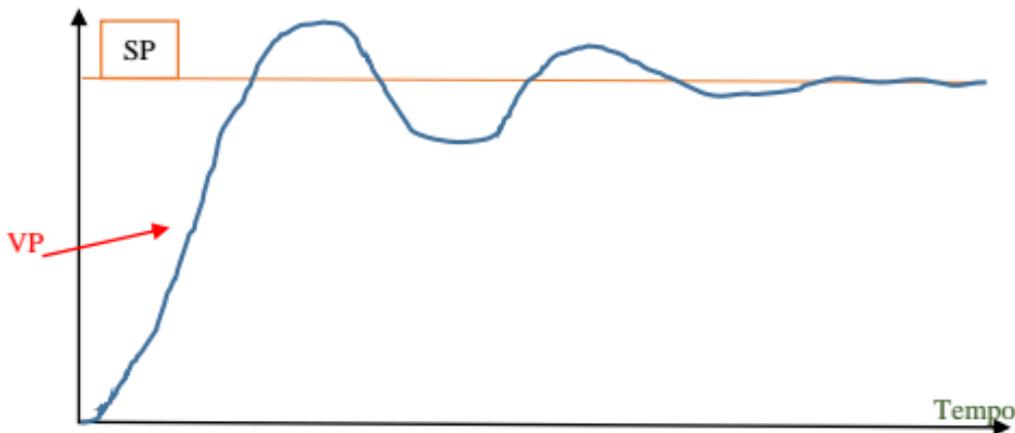
Figura 2.5 – Controlador proporcional.



Para eliminar o erro de *offset* presente nos controladores proporcionais, desenvolveu-se a ação integral, a qual, em conjunto com a ação proporcional, é denominada de controlador proporcional e integral (PI). No controlador PI, a ação proporcional atua de forma instantânea, e a ação integral atua ao longo do tempo, integrando o erro e eliminando-o lentamente. A saída do controlador PI é a soma das ações proporcional e integral, definida como:  $u = K_p (\text{erro} + K_i \int \text{erro} dt)$ .

O controlador PI elimina as oscilações do controlador liga-desliga, assim como o erro de *offset*. Por esse motivo, esse controlador é bastante usado no controle de processos.

Figura 2.6 – Controlador Proporcional e Integral.



## 2 OBJETIVOS

- Implementar o controlador liga-desliga;
- Implementar o controlador proporcional (P);
- Implementar o controlador proporcional e integral (PI).

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do item	Quant.	Descrição
1	1	Planta didática de instrumentação industrial e controle de processos
2	1	Placa de aquisição de dados
3	-	Software para desenvolvimento da aplicação

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

Verificar o correto funcionamento de todos os materiais e equipamentos antes do início das atividades. O laboratório deverá estar organizado e limpo para ter um ambiente propício para um melhor aprendizado.

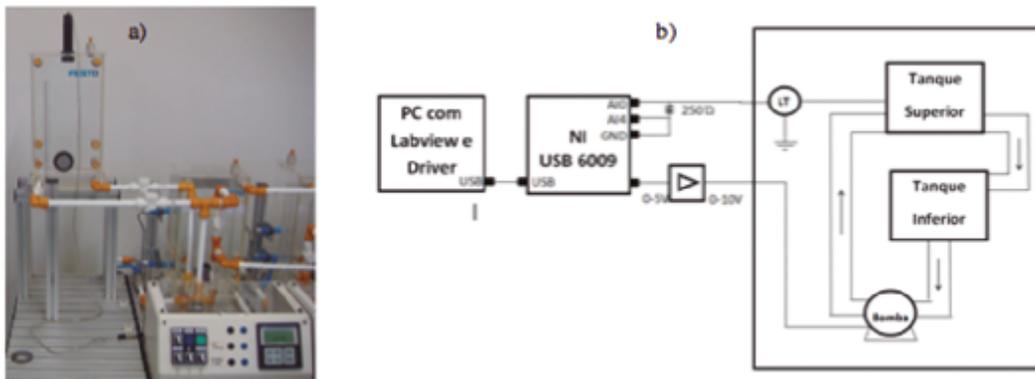
## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA



As atividades práticas mostradas foram desenvolvidas usando o *software LabView*; entretanto, outros ambientes de programação e outras estruturas poderão ser usadas. Para todas as atividades propostas neste capítulo, será usada a mesma estrutura mostrada na Figura 2.7. A estrutura comentada está formada por um processo de nível que conta com um tanque superior e um reservatório inferior. A bomba envia a água do reservatório inferior para o tanque superior, e sua velocidade é controlada através da aplicação de tensão entre 0 e 10 volts. A água chega no tanque superior através de um cano localizado na sua parte inferior. Conseqüentemente, se a bomba desliga, o nível do tanque superior começa a diminuir.

A interface é composta pela placa USB-6009 e circuitos eletrônicos adicionais, pois o sinal de nível que vem do sensor é de 0 a 20 mA, e o sinal que a placa trabalha é de 0 a 5 V, sendo então necessário inserir um resistor de 250 ohms para converter o sinal de corrente em tensão (0 a 5 V). Para atender a bomba, que trabalha com sinal de 0 a 10 V, foi desenvolvido um amplificador de ganho dois (amplificador mais casador de impedância feito com amplificadores operacionais), tendo em vista que a saída da placa é de 0 a 5 V, conforme se mostra nas Figuras 2.7:

**Figuras 2.7** – a) Foto da planta, b) Interligação da planta com a placa de aquisição.

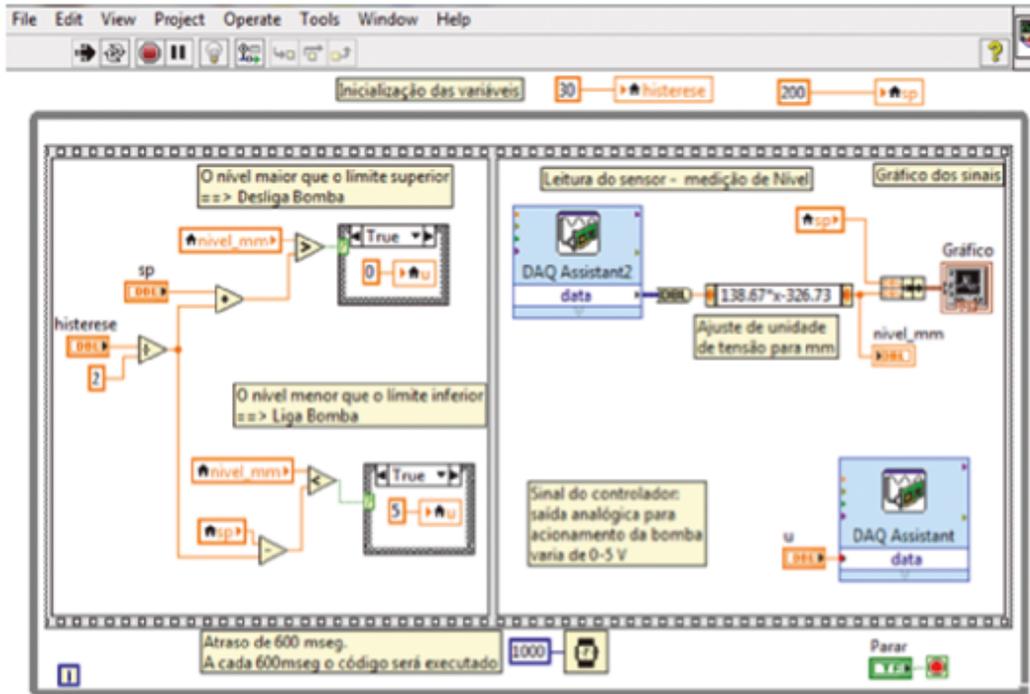


### Atividade prática 1 – Implementação de um controlador liga-desliga numa planta de nível.

Carga horária	4 horas
Pré-requisitos	Conhecimentos básicos de instrumentação

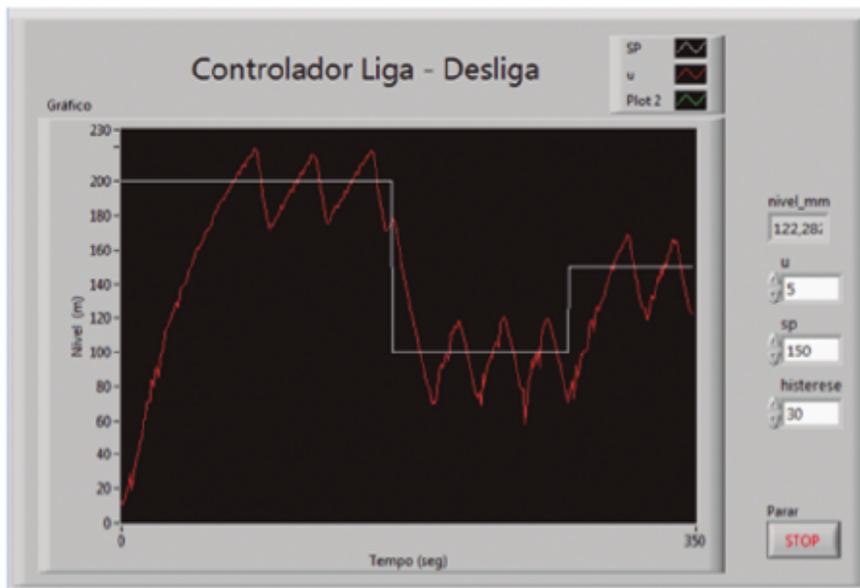
1. Montar a configuração mostrada nas Figuras 2.7;
2. No *software LabView*, programar a aplicação mostrada na Figura 2.8 e na Figura 2.9;

Figura 2.8 – Diagrama do programa no LabView. Controlador liga-desliga.



3. Inserir um valor de *set point* e de histerese e clicar no botão *run*. Na Figura 2.9, são mostrados os resultados obtidos:

Figura 2.9 – Resultado da experiência prática 1: Controlador liga-desliga.



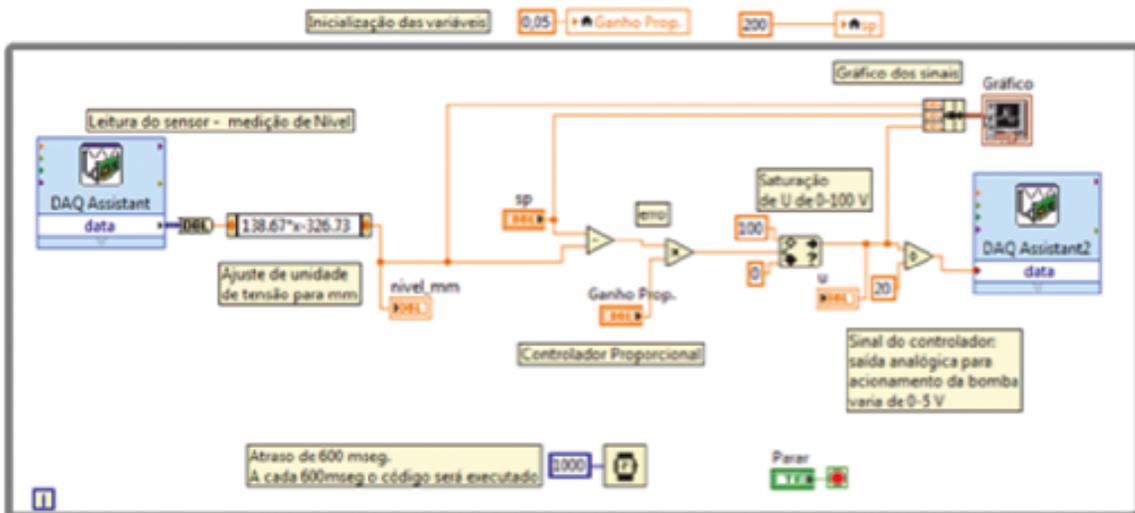
## Atividade prática 2 – Implementação de um controlador proporcional numa planta de nível



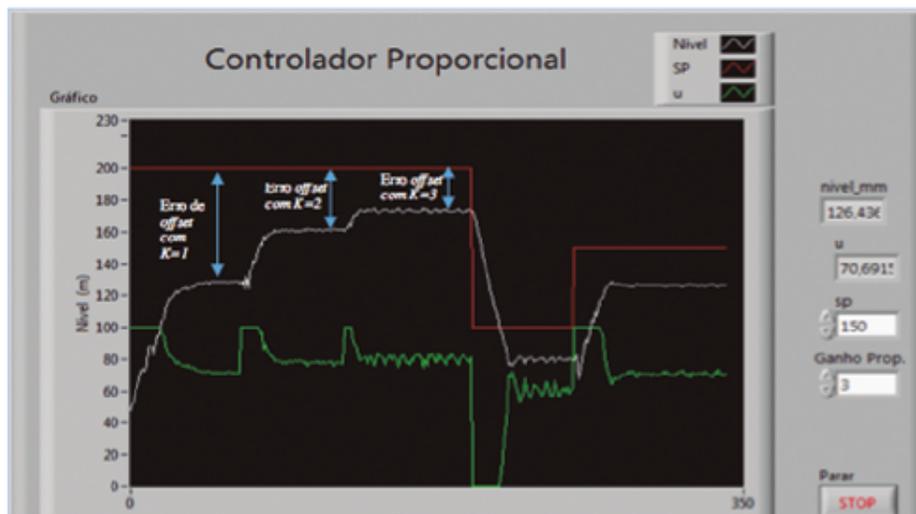
<b>Carga horária</b>	4 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de instrumentação

1. Montar a configuração mostrada na Figura 2.7;
2. No *software LabView*, programar a aplicação mostrada na Figura 2.10 e na Figura 2.11;
3. Inserir o valor de *set point* e o ganho proporcional e clicar no botão *run*. Resultados para três ganhos diferentes do controlador proporcional são mostrados na Figura 2.11;

**Figura 2.10** – Diagrama do programa no *LabView*. Controlador proporcional.



**Figura 2.11** – Painel e resultados do programa no *LabView*. Controlador proporcional.



## Atividade prática 3 – Implementação de um controlador proporcional-integral numa planta de nível



<b>Carga horária</b>	4 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de instrumentação

1. Montar a configuração mostrada na Figura 2.7;
2. No *software LabView* programar a aplicação mostrada na Figura 2.12, na Figura 2.10 e na Figura 2.13;
3. Inserir o valor de *set point*, os ganhos do controlador e clicar no botão *run*. Resultados do controlador PI podem ser observados na Figura 2.13.

**Figura 2.12** – Diagrama do programa no *LabView*. Controlador proporcional integral.

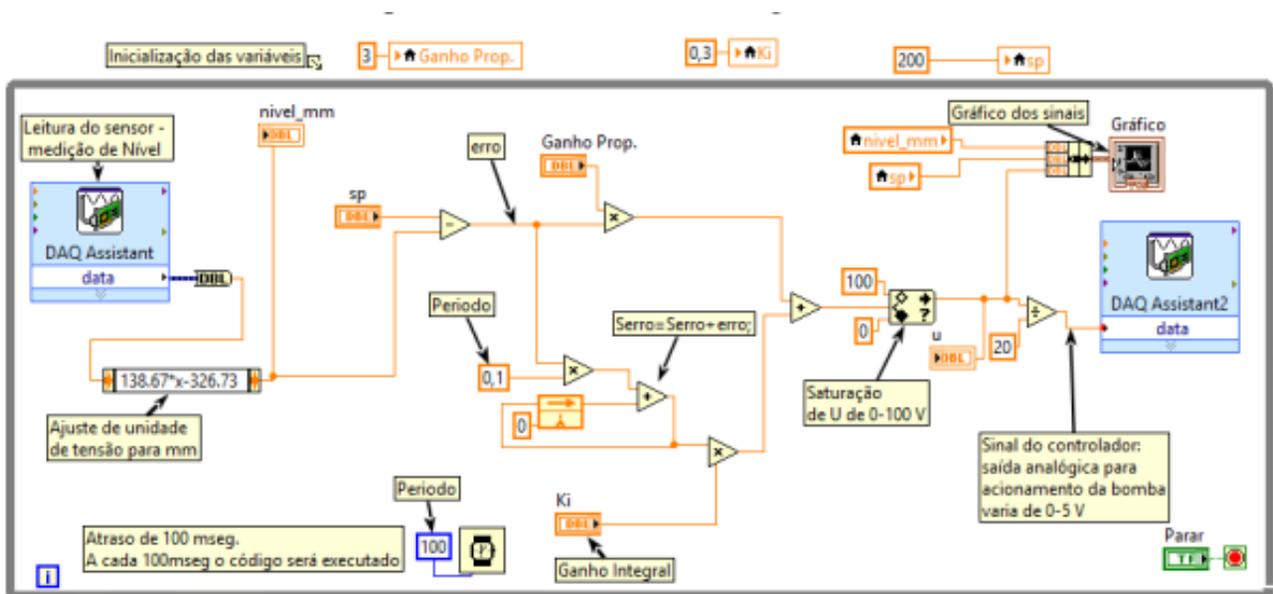
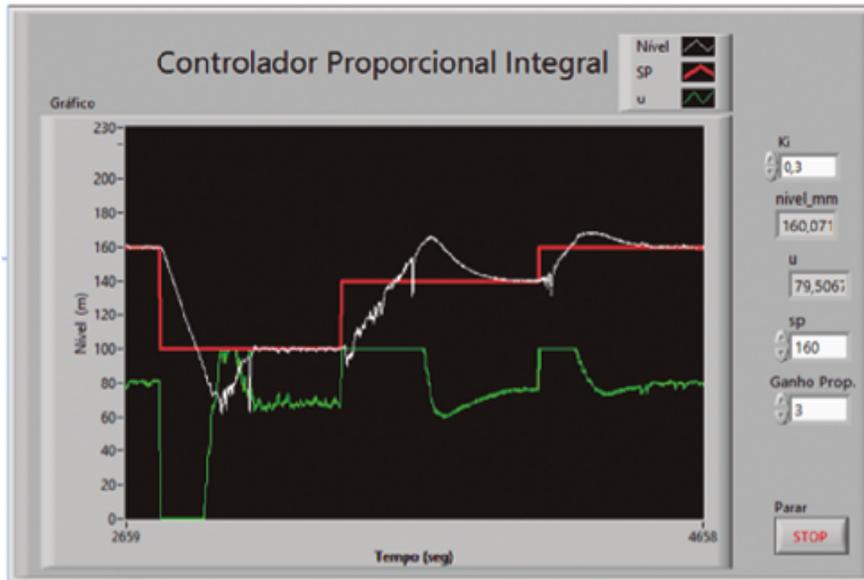


Figura 2.13 – Painel e resultados do programa no LabView. Controlador proporcional integral.



## 6 NORMAS E LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA

- NBR ISSO/IEC 17025;
- Não inverter a ligação dos fios do calibrador de pressão. Embora ele tenha proteção contra tensão negativa, com o tempo isso pode danificar seu instrumento.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Responder às seguintes perguntas:

- Especifique as vantagens e desvantagens dos controladores liga-desliga, proporcional e PI;
- Para implementar qualquer um dos controladores anteriormente citados, é necessário utilizar sensores analógicos? Explique.
- Na sua opinião, qual dos controladores teve melhor desempenho? Explique.
- Em que controladores a variável do processo não se estabiliza no *set point*?
- Usando o controlador PI, é possível manter o erro no valor zero? Explique.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



APOSTILA: INSTRUMENTAÇÃO, FUNDAMENTOS DE CONTROLE DE PROCESSOS. SENAI-ES, 1999.

CAMPOS, M. C. M. de; TEIXEIRA, H. C. G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. Editora Edgar Blucher, 2006.

KUO, B. C. **Sistemas de Control Automático**. 7. ed. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 1996.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 4. ed. Pearson, 2010.

SIGHIERI, L.; NISHINARI, A. **Controle Automático de Processos Industriais – Instrumentação**. 2. ed. Editora Edgard Blucher Ltda., 1988.

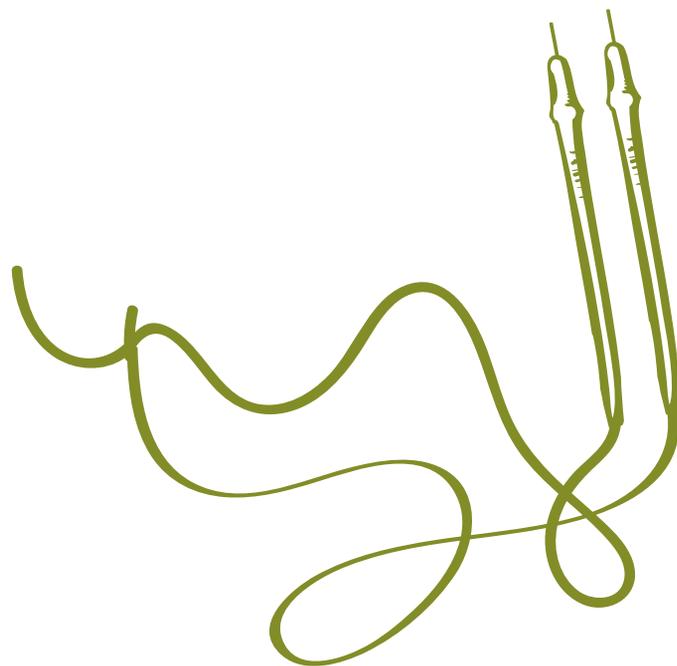
# CAPÍTULO 3

-

# SENSORES CAPACITIVOS

Autor:

Leonardo Duarte de Albuquerque



# 1 CONCEITO DA AULA PRÁTICA



Os sensores capacitivos incorporam, além das características do elemento capacitivo (formado por uma placa e por um objeto presente no ambiente de trabalho), outros elementos associados. De acordo com a presença de um objeto no ambiente, há a variação da capacitância, o que altera a frequência de oscilação de um circuito ressonante. O sinal da variação de frequência é convertido em tensão pelo detector e, usando um circuito *trigger*, a tensão obtida gera ondas quadradas para abertura ou fechamento do circuito de comutação.

## 2 OBJETIVOS

- Apresentar a forma de ligação de sensores capacitivos;
- Ajustar a sensibilidade de detecção dos sensores capacitivos;
- Verificar as características de detecção dos sensores capacitivos, em materiais de diferentes tipos e tamanhos.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do item	Quantidade	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	Sensor capacitivo
2	4	Cabos banana/banana
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Lâmpada indicativa (qualquer cor)
5	1	Régua milimetrada
6	2	Objetos para detecção (qualquer tipo não metálico e metálico, com tamanhos iguais)
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Sensor capacitivo
2	4	Cabos banana/banana
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Lâmpada indicativa (qualquer cor)
5	1	Régua milimetrada
6	1	Peça de aço com tamanho médio de 5 x 5
7	1	Peça de aço com tamanho médio de 10 x 10



8	1	Peça de alumínio com tamanho médio de 5 x 5
9	1	Peça de madeira com tamanho médio de 5 x 5
10	1	Peça de plástico com tamanho médio de 5 x 5
11	1	Peça de plástico com tamanho médio de 10 x 10
12	1	Peça de vidro com tamanho médio de 5 x 5

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas as bancadas a serem utilizadas estão em conformidade. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas duas atividades práticas envolvendo o ajuste e o uso de sensores capacitivos. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos.

### Atividade prática 1 – Ajuste de sensores capacitivos

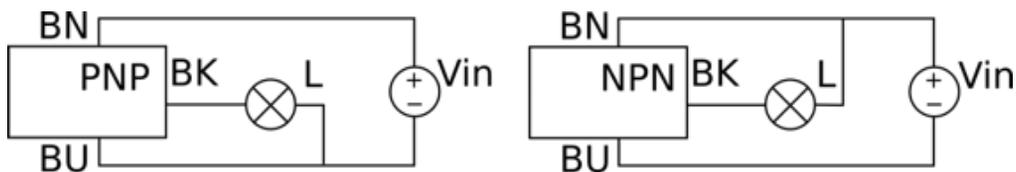
<b>Carga horária</b>	30 min
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

Sensores capacitivos são utilizados na detecção dos mais diversos materiais, sendo largamente utilizados na indústria. Nessa prática, é apresentada a forma de ligação e ajuste da sensibilidade desses tipos de sensores na detecção de objetos.

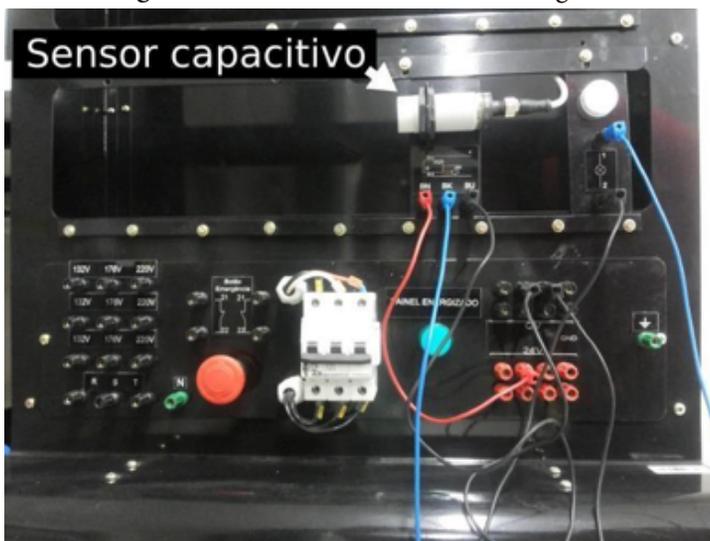
### Croquis

A Figura 3.1 apresenta a interligação dos terminais do sensor capacitivo BN (marrom), BU (azul) e BK (preto) à lâmpada L, conforme *datasheet*, usando configurações PNP e NPN. A foto ilustrativa da montagem encontra-se na Figura 3.2.

**Figura 3.1** – Esquemas de ligação PNP e NPN.



**Figura 3.2** – Foto ilustrativa da montagem.



## Etapas

### 1. Localize a fonte de alimentação a ser utilizada no experimento:

- a) Verifique se a tensão de entrada da fonte coincide com o nível de tensão local. Corrija, se necessário;
- b) Verifique se a tensão de saída está dentro do limite de funcionamento do sensor.

### 2. Monte os componentes em sua base de fixação, de acordo com o *kit* didático, caso se aplique;

### 3. Efetue as ligações elétricas conforme esquema de ligação:

- a) Fio BN do sensor ao positivo da fonte de alimentação;
- b) Fio BU do sensor ao negativo (ou terra) da fonte de alimentação;
- c) Fio BK a um dos terminais da lâmpada;
- d) Um dos terminais da lâmpada ao negativo (caso PNP) ou ao positivo da fonte (caso NPN).

### 4. Verificar o efeito do ajuste de sensibilidade e ajustar o sensor cacitivo.

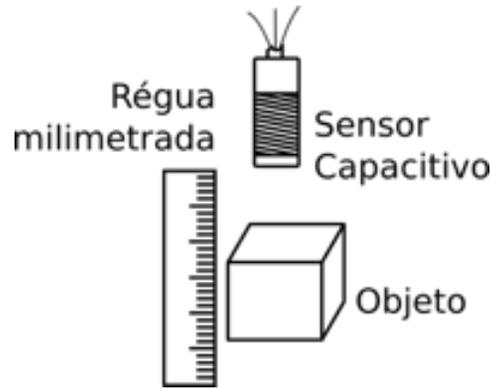
- a) Ligue a fonte de alimentação;

b) Ajuste o sensor na posição mínima, girando o parafuso no sentido anti-horário;

c) Aproxime o objeto não-metálico a ser verificado da extremidade sensível do sensor e verifique quando ocorre detecção (acendimento da lâmpada). Anote na tabela (medindo com a régua) a distância entre a extremidade do sensor e a peça (conforme ilustrado na Figura 3.3);



**Figura 3.3** – Figura ilustrativa das medições.



d) Ajuste o sensor na posição máxima (girando o parafuso no sentido horário) e repita o passo c, inserindo os dados obtidos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1** - Dados obtidos pelo experimento.

Tipo de objeto	Distância (mm)	
	Valor máximo	Valor mínimo

**5. Ajuste do sensor:**

a) Calcule a distância média entre os valores máximo e mínimo. Ajuste o sensor para detectar o objeto a esta distância;

b) Repetir os passos 4 e 5 utilizando o objeto metálico.

## Atividade prática 2 – Uso de Sensores Capacitivos

<b>Carga horária</b>	30 min
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

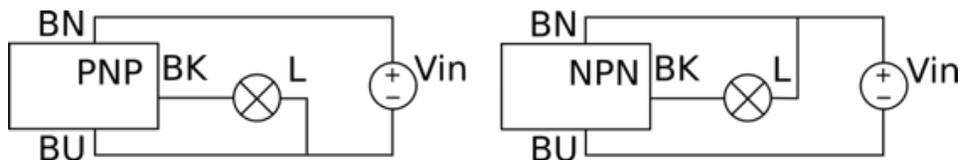
Nessa atividade será observada a diferença de sensibilidade apresentada pelos sensores capacitivos na detecção de diferentes materiais.

## Croquis



A Figura 3.4 apresenta a interligação dos terminais do sensor capacitivo BN (marrom), BU (azul) e BK (preto) à lâmpada L, conforme datasheet, usando configurações PNP e NPN. A foto ilustrativa da montagem encontra-se na Figura 3.5.

**Figura 3.4** – Esquemas de ligações PNP e NPN.



**Figura 3.5** – Foto ilustrativa da montagem.



## Etapas

**1. Localize a fonte de alimentação a ser utilizada no experimento:**

- a) Verifique se a tensão de entrada da fonte coincide com o nível de tensão local. Corrija, se necessário;
- b) Verifique se a tensão de saída está dentro do limite de funcionamento do sensor.

**2. Monte os componentes em sua base de fixação, de acordo com o kit didático, caso se aplique:**

**3. Efetue as ligações elétricas conforme esquema de ligação:**

- a) Fio BN do sensor ao positivo da fonte de alimentação;

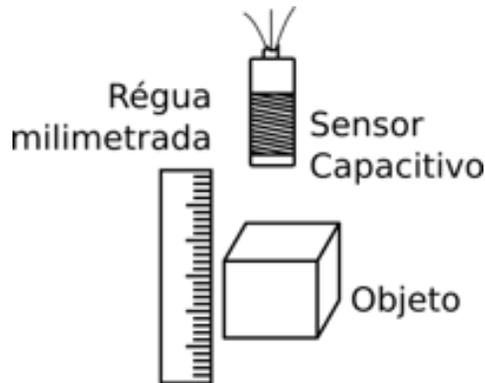


- b) Fio BU do sensor ao negativo (ou terra) da fonte de alimentação;
- c) Fio BK a um dos terminais da lâmpada;
- d) Um dos terminais da lâmpada ao negativo (caso PNP) ou ao positivo da fonte (caso NPN).

**4. Verificar como os diferentes materiais afetam o desempenho do sensor de proximidade capacitivo:**

- a) Ligue a fonte de alimentação;
- b) Aproxime o objeto a ser verificado da extremidade sensível do sensor e verifique se ocorre detecção (acendimento da lâmpada);
- c) Caso o objeto seja detectado, encontre o limite de detecção do sensor, medindo com a régua a distância entre a extremidade do sensor e a peça (conforme ilustrado na Figura 3.6);

**Figura 3.6** – Figura ilustrativa das medições.



- d) Insira os dados na Tabela 3.2 e repita os passos b e c até preenchê-la totalmente.

**Tabela 3.2** – Dados obtidos pelo experimento.

Tipo de objeto	Material detectado (Sim/Não)	Distância (mm)
Aço (pequeno)		
Aço (grande)		
Alumínio		
Madeira		
Plástico (pequeno)		
Plástico (grande)		
Vidro		

## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA



Utilizar tomadas devidamente aterradas, conforme a NBR 14136:2002, devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Será aplicado um questionário para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Ajuste de sensores capacitivos

- O que justifica a diferença na ligação de sensores que utilizam internamente transistores PNP e NPN? O que aconteceria se fosse invertida a ligação?
- Qual a necessidade de ajustar um sensor capacitivo? Cite exemplos.
- Precisamos ajustar também sensores que nunca foram utilizados (novos)? Por quê?
- A diferença de sensibilidade depende apenas do ajuste do sensor? Explique.

### Atividade 2 – Uso de sensores capacitivos

- O que justifica a diferença na ligação de sensores que utilizam, internamente, transistores PNP e NPN? O que aconteceria se fosse invertida a ligação?
- Qual a influência do tamanho do objeto para sua detecção por um sensor capacitivo?
- Que tipo de objeto é detectado com mais facilidade pelo sensor capacitivo? Por qual motivo? Verificar as possíveis causas como, por exemplo: o aluno não usou a rotação adequada, ou a ferramenta de corte não estava bem afiada.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Editora LTC, 2005.

BISHOP, R. H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2007.

CAPELLI, A. **Automação Industrial**. São Paulo: Érica, 2008.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.

# CAPÍTULO 4

-

# SENSORES INDUTIVOS

**Autor:**

Leonardo Duarte de Albuquerque



# 1 CONCEITOS



Os sensores indutivos têm seu funcionamento relacionado à variação do campo magnético gerado pela aproximação apenas de objetos metálicos. Esses sensores são formados por um circuito oscilador, um demodulador, que transforma a variação de campo magnético em sinal de tensão, um *trigger*, que envia ondas quadradas para abertura ou fechamento do circuito de saída e, finalmente, por um elemento comutador. Quanto maior for o objeto metálico, maior será sua sensibilidade de detecção, ou seja, maior será a distância de operação máxima compreendida entre o objeto e a ponta do sensor. Metais que sejam bons condutores (não ferromagnéticos), tais como cobre e alumínio, possuem distâncias de operação relativamente menores.

## 2 OBJETIVOS

- Apresentar a forma de ligação de sensores indutivos;
- Ajustar a sensibilidade de detecção dos sensores indutivos;
- Apresentar as características de detecção para materiais de diferentes tipos e tamanhos.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	Sensor indutivo
2	4	Cabos banana/banana
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Lâmpada indicativa (qualquer cor)
5	1	Régua milimetrada
6	1	Objetos para detecção (alumínio e ferro ou aço, com tamanhos iguais)
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Sensor indutivo
2	4	Cabos banana/banana
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Lâmpada indicativa (qualquer cor)
5	1	Régua milimetrada
6	1	Peça de aço com tamanho médio de 5 x 5
7	1	Peça de aço com tamanho médio de 10 x 10
8	1	Peça de alumínio com tamanho médio de 5 x 5
9	1	Peça de madeira com tamanho médio de 5 x 5



10	1	Peça de plástico com tamanho médio de 5 x 5
11	1	Peça de plástico com tamanho médio de 10 x 10
12	1	Peça de vidro com tamanho médio de 5 x 5

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas as bancadas a serem utilizadas estão em conformidade. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas duas atividades envolvendo o ajuste e o uso de sensores indutivos. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos.

### Atividade prática 1 – Ajuste de sensores indutivos

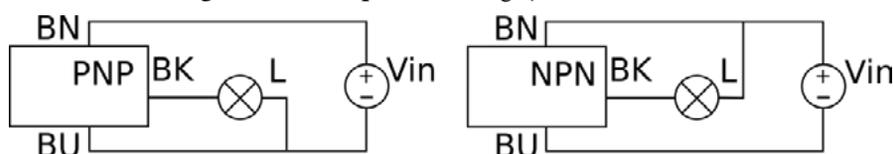
<b>Carga horária</b>	30 min
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

Sensores indutivos são bastante utilizados na indústria para detecção de objetos metálicos. Nesta atividade prática, será abordada a forma de ligação e ajuste desses sensores.

### Croquis

A Figura 4.1, esquemas de ligação PNP e NPN, apresenta a interligação dos terminais do sensor indutivo BN (marrom), BU (azul) e BK (preto) à lâmpada L, conforme *datasheet*, usando configurações PNP e NPN. A foto ilustrativa da montagem encontra-se na Figura 4.2, foto ilustrativa da montagem.

**Figura 4.1** – Esquemas de ligação PNP e NPN.



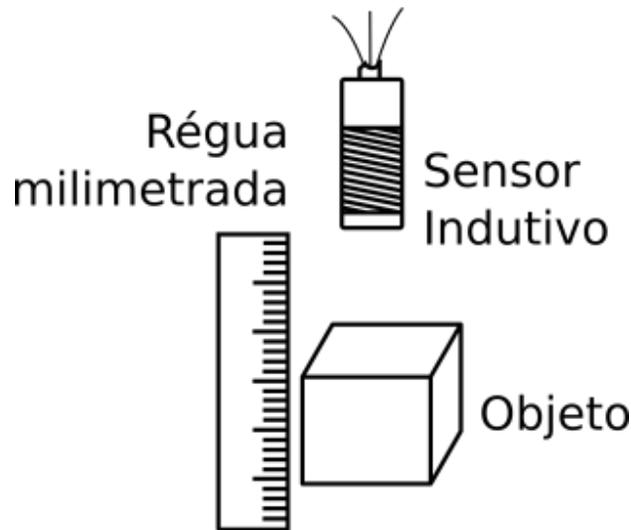
**Figura 4.2** – Foto ilustrativa da montagem.



## Etapas

1. Localize a fonte de alimentação a ser utilizada no experimento:
  - a) Verifique se a tensão de entrada da fonte coincide com o nível de tensão local, corrija se necessário;
  - b) Verifique se a tensão de saída está dentro do limite de funcionamento do sensor.
2. Monte os componentes em sua base de fixação, de acordo com o *kit* didático, caso se aplique.
3. Efetue as ligações elétricas conforme esquema de ligação:
  - a) BN do sensor ao positivo da fonte de alimentação;
  - b) BU do sensor ao negativo (ou terra) da fonte de alimentação;
  - c) BK a um dos terminais da lâmpada;
  - d) O terminal da lâmpada remanescente ao negativo (caso PNP) ou ao positivo da fonte (caso NPN).
4. Verificar o efeito do ajuste de sensibilidade e ajustar o sensor indutivo:
  - a) Ligue a fonte de alimentação em uma saída de CA equivalente;
  - b) Ajuste o sensor na posição mínima (girando no sentido anti-horário);
  - c) Aproxime o objeto não metálico a ser verificado da extremidade sensível do sensor e verifique quando ocorre a detecção (acendimento da lâmpada) e anote na tabela (medindo com a régua) a distância entre a extremidade do sensor e a peça (conforme ilustrado na Figura 4.3 - Figura ilustrativa das medições).

Figura 4.3 – Figura ilustrativa das medições.



d) Ajuste o sensor na posição máxima (girando o parafuso no sentido horário) e repita o passo c, preenchendo a Tabela 4.1 com os dados obtidos.

Tabela 4.1 – Dados obtidos do experimento.

Tipo de objeto	Distância (mm)		
	Valor máximo	Valor mínimo	Valor médio

5. Ajuste do sensor:

a) Calcule a distância média entre o valor máximo e o mínimo e ajuste o sensor para detectar o objeto a essa distância.

Repetir os passos 4 e 5 utilizando o objeto metálico.

## Atividade prática 2 – Uso dos sensores indutivos

Carga horária	30 min
Pré-requisitos	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

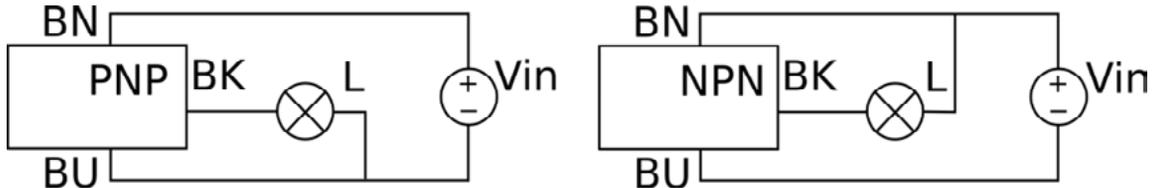
Nessa atividade, será observada a diferença de sensibilidade apresentada pelos sensores indutivos na detecção de diferentes materiais.

## Croquis

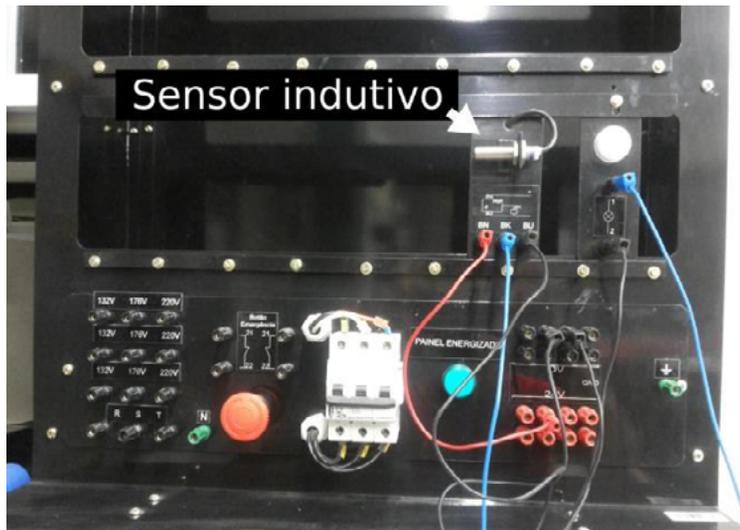


A Figura 4.4, esquemas de ligação PNP e NPN, apresenta a interligação dos terminais do sensor indutivo BN (marrom), BU (azul) e BK (preto) à lâmpada L, conforme *datasheet*, usando configurações PNP e NPN. A foto ilustrativa da montagem encontra-se na Figura 4.5, foto ilustrativa da montagem.

**Figura 4.4** – Esquemas de ligação PNP e NPN.



**Figura 4.5** – Foto ilustrativa da montagem.



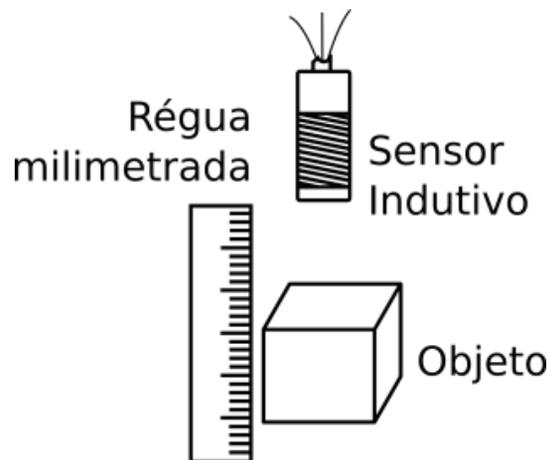
## Etapas

1. Localize a fonte de alimentação a ser utilizada no experimento:
  - a) Verifique se a tensão de entrada da fonte coincide com o nível de tensão local, corrija se necessário;
  - b) Verifique se a tensão de saída está dentro do limite de funcionamento do sensor.
2. Monte os componentes em sua base de fixação, de acordo com o *kit* didático, caso se aplique.
3. Efetue as ligações elétricas conforme esquema de ligação:
  - a) Fio BN do sensor ao positivo da fonte de alimentação;



- b) Fio BU do sensor ao negativo (ou terra) da fonte de alimentação;
  - c) Fio BK a um dos terminais da lâmpada;
  - d) O terminal da lâmpada remanescente ao negativo (caso PNP) ou ao positivo da fonte (caso NPN).
4. Verificar como os diferentes materiais afetam o desempenho do sensor de proximidade indutivo:
- a) Ligue a fonte de alimentação em uma saída de CA equivalente;
  - b) Aproxime o objeto a ser verificado da extremidade sensível do sensor e verifique se ocorre detecção (acendimento da lâmpada);
  - c) Caso o objeto seja detectado, encontre o limite de detecção do sensor, medindo com a régua a distância entre a extremidade do sensor e a peça, conforme ilustrado na Figura 4.6, figura ilustrativa das medições.

**Figura 4.6** – Figura ilustrativa das medições.



- d) Insira os dados na Tabela 4.2 e repita os passos *b* e *c* até preenchê-la totalmente.

**Tabela 4.2** – Dados obtidos no experimento.

Tipo de objeto	Material detectado (Sim/Não)	Distância (mm)
Aço (pequeno)		
Aço (grande)		
Alumínio		
Madeira		
Plástico (pequeno)		
Plástico (grande)		
Vidro		

## 4 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

Utilizar tomadas devidamente aterradas, conforme a NBR 14136:2002, devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório.

## 5 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Ajuste de sensores indutivos

- a) O que justifica a diferença na ligação de sensores que utilizam internamente transistores PNP e NPN? O que aconteceria se fosse invertida a ligação?
- b) Qual a necessidade de ajustar um sensor indutivo? Cite exemplos.
- c) Precisamos ajustar também sensores que nunca foram utilizados (novos)? Por quê?
- d) A diferença de sensibilidade depende apenas do ajuste do sensor? Explique.

### Atividade 2 – Uso dos sensores indutivos

- a) O que justifica a diferença na ligação de sensores que utilizam internamente transistores PNP e NPN? O que aconteceria se fosse invertida a ligação?
- b) Por que alguns objetos foram detectados pelo sensor indutivo e outros não? Qual característica do objeto influencia na detecção?
- c) Qual a influência do tamanho do objeto para sua detecção por um sensor indutivo?

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Editora LTC, 2005.

BISHOP, R. H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2007.

CAPELLI, A. **Automação Industrial**. São Paulo: Érica, 2008.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.

# CAPÍTULO 5

-

# SENSORES MECÂNICOS E MAGNÉTICOS

**Autores:**

Ronilson Rodrigues Pinho

Willian Vairo dos Santos



# 1 CONCEITO



Os sensores mecânicos discretos são dispositivos que possuem menor ônus em comparação com outros sensores de proximidade. Porém, o seu tempo de vida útil é associado à quantidade de acionamentos. São exemplos de sensores mecânicos: chaves fim de curso, *dip-switches* e *microswitches*.

A chave de fim de curso, por exemplo, é acionada pela aplicação de uma força na palheta do sensor. Isso acarreta na comutação dos bornes (liga/desliga, NF – Normalmente Fechado ou NA – Normalmente Aberto).

Os sensores magnéticos possuem a facilidade de interagir com materiais não magnéticos, como aço inoxidável, alumínio e cobre e a possibilidade de operar em locais hostis. O sensor magnético discreto mais utilizado em aplicações industriais é o *reed-switch* ou *reed*. Os sensores *reed* têm como principal componente um par de contatos localizados no interior de uma ampola *reed* com invólucro de plástico. Quando um magneto (ímã) acoplado a um objeto se move nas vizinhanças de um sensor *reed*, há a possibilidade de detecção do objeto. Isso dependerá da orientação do eixo dos polos do magneto e da distância do magneto em relação ao *reed*.

# 2 OBJETIVOS

- Apresentar a forma de ligação de sensores mecânicos (em série e em paralelo);
- Entender os princípios de funcionamento da chave fim de curso;
- Fixar conhecimentos sobre sensores magnéticos do tipo discreto;
- Implementar uma aplicação usual para esse tipo de sensor.

# 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	2	Chave fim de curso
2	4	Cabo banana/banana
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Lâmpada (qualquer cor)
<b>Atividade prática 2</b>		
1	2	Chave fim de curso
2	4	Cabo banana/banana
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Lâmpada (qualquer cor)
<b>Atividade prática 3</b>		
1	2	Boias magnéticas para aquário
2	1	Suporte plástico para as boias
3	1	LED bicolor (vermelho e verde)
4	2	Resistor de 100 Ω ¼ W - 5%



5	1	Fonte de alimentação de $5V_{CC}$
6	1	Recipiente plástico de água com capacidade de 3 litros com torneira
7	1	Recipiente plástico de água com capacidade de 3 litros

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas as bancadas a serem utilizadas estão em conformidade. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas duas atividades em que serão feitas as montagens em série e paralelo de sensores mecânicos do tipo chave fim de curso. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos.

### Atividade prática 1 – Ligação em série de sensores mecânicos

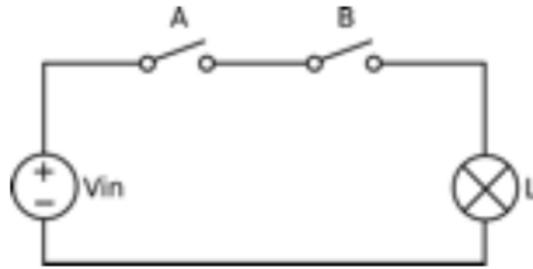
<b>Carga horária</b>	30 min.
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade

Esses sensores atuam como interruptores ou mesmo chaves comutadoras que atuam sobre um circuito no modo liga/desliga, quando uma ação mecânica acontecer no seu elemento atuador. Nesse experimento, chaves fim de curso serão utilizadas em ligação série para averiguação das características desse tipo de ligação.

### Croquis

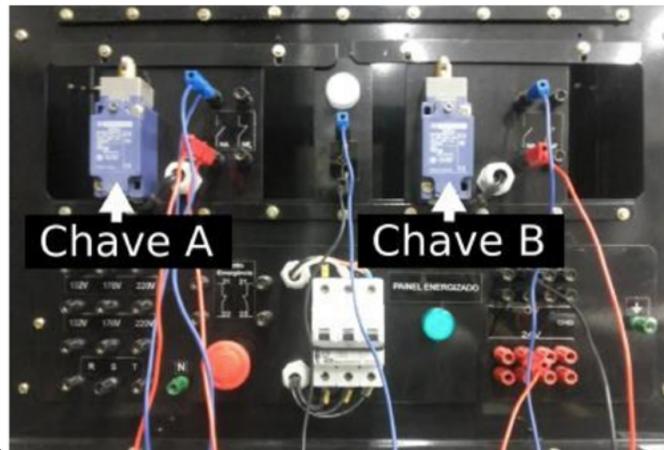
A Figura 5.1 ilustra o esquema elétrico que será utilizado, com as chaves fim de curso A e B ligadas à fonte de alimentação ( $V_{in}$ ) e com a lâmpada L.

**Figura 5.1** – Esquema elétrico da atividade prática com chaves fim de curso.



A Figura 5.2 ilustra as chaves fim de curso utilizadas para a implementação do circuito da Figura 5.1.

**Figura 5.2** – Foto ilustrativa da montagem



## Etapas

1. Localize a fonte de alimentação a ser utilizada no experimento:
  - a. Verifique se a tensão de entrada da fonte coincide com o nível de tensão local. Corrija, se necessário;
  - b. Verifique se a tensão de saída está dentro do limite de funcionamento do sensor.
2. Monte os componentes em sua base de fixação, de acordo com o *kit* didático, caso se aplique.
3. Efetue as ligações elétricas conforme esquema de ligação:
  - a. Ligue um terminal do cabo banana azul (Figura 5.2) à primeira entrada de alimentação NA da chave A. O outro terminal será ligado à outra entrada NA da chave B;
  - b. Ligue um terminal do cabo banana vermelho (Figura 5.2) à segunda entrada de alimentação NA da chave A. O outro terminal será ligado ao borne positivo da fonte de alimentação;
  - c. Ligue um terminal do cabo banana azul (Figura 5.2) à primeira entrada de alimentação da lâmpada. O outro terminal será ligado à outra entrada na porta NA da chave B;
  - d. Ligue o outro terminal da lâmpada à fonte de alimentação (cabo de cor preta – Figura 5.2).
4. Teste:
  - a. Ligue a fonte de alimentação;

- b. Pressione a chave A e mantenha pressionada;
- c. Pressione a chave B e mantenha pressionada;
- d. Observe o que ocorreu nos procedimentos *b* e *c* e preencha a Tabela 5.1, indicando se a lâmpada acendeu ou não.



**Tabela 5.1** – Dados indicando o estado da lâmpada.

Chave pressionada	Lâmpada
Chave A	
Chave B	

## Atividade prática 2 – Ligação em paralelo de sensores mecânicos

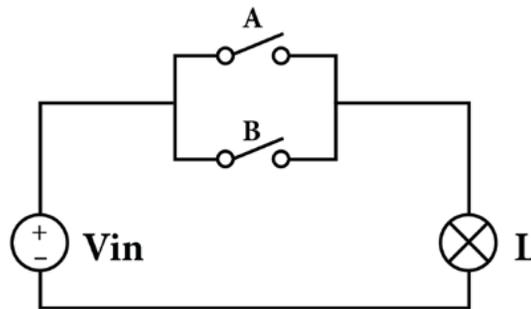
<b>Carga horária</b>	30 min
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade

Nesse experimento, chaves fim de curso serão utilizadas em ligação em paralelo para averiguação das características desse tipo de ligação, tanto para as chaves Normalmente Abertas (NA) como para as Normalmente Fechadas (NF).

### Croquis

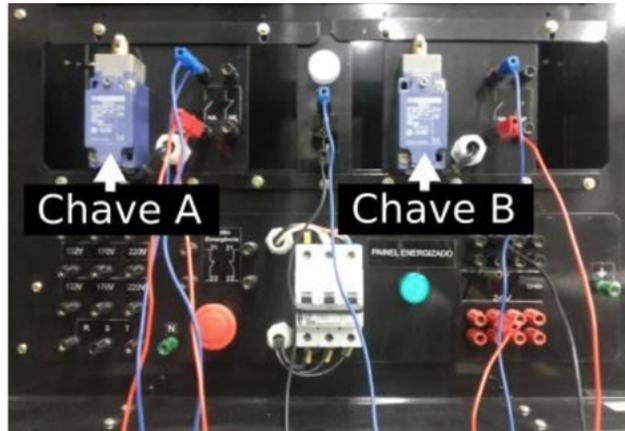
A Figura 5.3 ilustra o esquema elétrico que será utilizado, com as chaves fim de curso A e B ligadas à fonte de alimentação ( $V_{in}$ ) e com a lâmpada L.

**Figura 5.3** – Esquema de ligação Paralelo.



A Figura 5.4 ilustra as chaves fim de curso utilizadas no circuito da Figura 5.3.

**Figura 5.4** – Foto ilustrativa da montagem.



## Etapas

1. Localize a fonte de alimentação a ser utilizada no experimento:
  - b. Verifique se a tensão de entrada da fonte coincide com o nível de tensão local. Corrija, se necessário;
  - c. Verifique se a tensão de saída está dentro do limite de funcionamento do sensor.
2. Monte os componentes em sua base de fixação, de acordo com o *kit* didático, caso se aplique.
3. Efetue as ligações elétricas conforme esquema de ligação:
  - a. Plugue um terminal do cabo banana azul à primeira entrada de alimentação NF da chave A. Os outros dois terminais são ligados, um na entrada da lâmpada e outro no terminal NF da Chave B (Figura 5.4);
  - b. Plugue um terminal do cabo banana vermelho à segunda entrada de alimentação NF da chave A. Os outros dois terminais são ligados, um na fonte de alimentação positiva e outro na entrada de alimentação NF da chave B (Figura 5.4);
  - c. Ligue o outro terminal da lâmpada à fonte de alimentação (cabo de cor preta, conforme Figura 5.4).
4. Teste:
  - a. Ligue a fonte de alimentação;
  - b. Pressione a chave A e a mantenha pressionada;
  - c. Pressione a chave B e a mantenha pressionada;
  - d. Observe o que ocorreu nos procedimentos *b* e *c* e preencha a Tabela 5.2, indicando se a lâmpada acendeu ou não.

**Tabela 5.2** – Dados indicando o estado da lâmpada.

Chave pressionada	Lâmpada
Chave A	
Chave B	

## Atividade prática 3 – Sensores magnéticos tipo *Reed Switch*



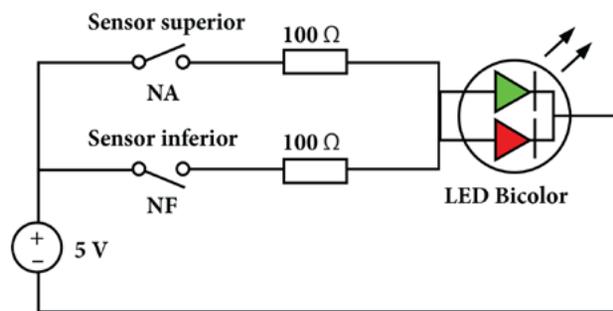
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de circuitos elétricos, conhecimentos básicos de sensores magnéticos

Os sensores magnéticos do tipo *reed switch* são amplamente utilizados em automação industrial. Nesta atividade, será observado um exemplo de uso desse tipo de sensor.

### Croquis

A Figura 5.5 apresenta o esquema elétrico do circuito que será montado nesta atividade prática. As Figuras 5.6 e a Figura 5.7 ilustram a montagem experimental.

**Figura 5.5** – Esquema elétrico do circuito que será implementado.



**Figuras 5.6** – Elemento sensor (a), materiais utilizados (b).



a)

b)



**Figura 5.7** – Montagem da boia.



## Etapas

1. Ter o recipiente sem água para manipulação dos flutuadores das boias magnéticas.
  - b. Ligue a fonte CC de 5 V;
  - c. Levante, manualmente, o flutuador do sensor inferior;
  - d. Levante, manualmente, o flutuador do sensor superior;
  - e. Observe o que aconteceu nos procedimentos acima e preencha a Tabela 5.3 com os estados dos LEDs verde e vermelho para ambos os acionamentos dos flutuadores:

**Tabela 5.3** – Estado dos LEDs.

Acionamento do flutuador	LED Verde	LED Vermelho
Sensor inferior		
Sensor superior		



2. Coloque água no reservatório paulatinamente (Figuras 5.8).

**Figuras 5.8** – Procedimentos de encher e esvaziar o recipiente de plástico.



**a)**



**b)**

a. Observe o que ocorre com os LEDs quando a água atinge os sensores superior e inferior. Preencha a Tabela 5.4.

**Tabela 5.4** – Estados dos LEDs – subida de nível.

Água atingindo o	LED Verde	LED Vermelho
Sensor inferior		
Sensor superior		

3. Abra a torneira (Figura 5.8 (b)).

a. Observe o que ocorre com os LEDs quando a água novamente decair dos níveis dos sensores superior e inferior. Preencha a Tabela 5.5.

**Tabela 5.5** – Estados dos LEDs – descida de nível.

Água abaixo do nível do	LED Verde	LED Vermelho
Sensor Superior		
Sensor Inferior		

## 2 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA



Utilizar tomadas devidamente aterradas, conforme a NBR 14136:2002, devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório.

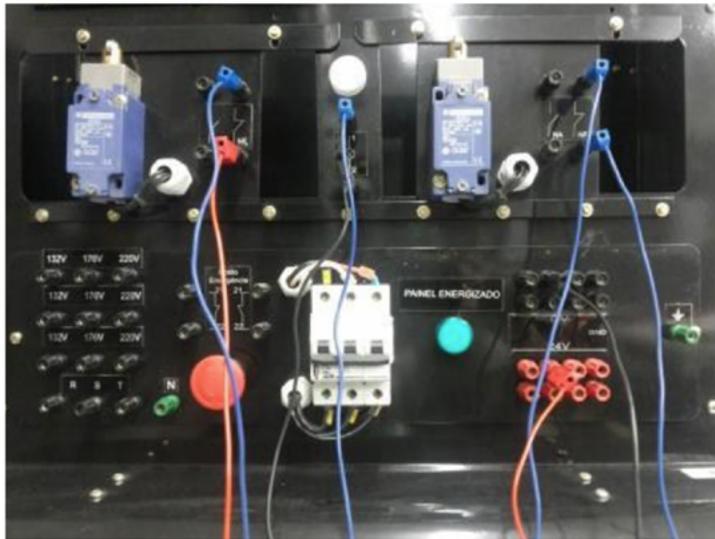
## 3 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Ligação em série de sensores mecânicos

- a. Modifique a posição dos pinos banana da porta NA para a porta NF (Figura 5.9) e repita o teste.

**Figura 5.9** – Ligação paralela usando chave fim de curso na porta NF.

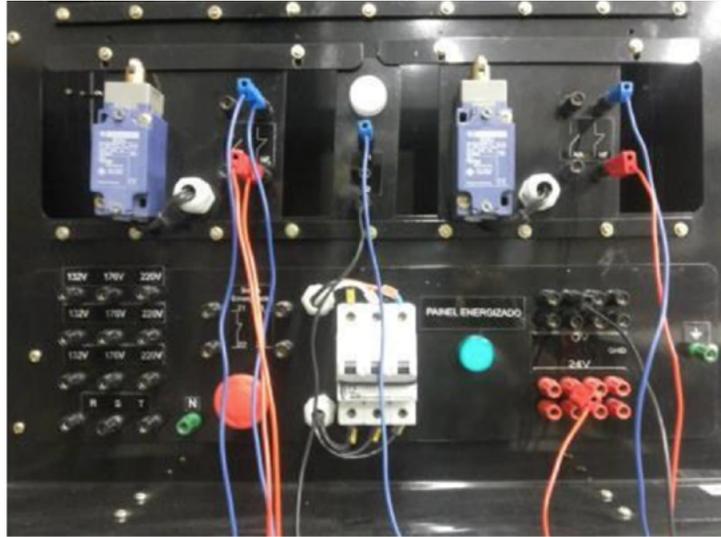


- b. Qual a diferença observada usando a saída NA e a saída NF?

## Atividade 2 – Ligação em paralelo de sensores mecânicos

Modifique a posição dos pinos banana da porta NF para a porta NA (Figura 5.10) e repita o teste.

**Figura 5.10** – Ligação paralela usando chave fim de curso na porta NF.



b. Qual a diferença observada usando as saídas NA e NF?

## Atividade 3 – Sensores magnéticos tipo *reed switch*

- Qual a diferença de modo de funcionamento da boia magnética quando ela está montada com o flutuador para cima (como o sensor inferior) ou para baixo (como o sensor superior)?
- Como poderia ser arranjado um conjunto de sensores idênticos ao da experiência para se medir o nível de água de uma caixa d'água que nos fornecesse indicações de 10% em 10%, entre 10% e 100%, mostrados em um conjunto de LEDs, para indicação de nível, como um *bar graph*?
- Projete um sistema que utilize os sensores mostrados acima para o acionamento automático de uma bomba elétrica que deve ser ligada quando o nível da água cair abaixo do sensor inferior e ser desligada quando o nível da água atingir o sensor superior.



## 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Editora LTC, 2005.

BISHOP, R. H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2007.

CAPELLI, A. **Automação Industrial**. São Paulo: Érica, 2008.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.

# CAPÍTULO 6

-

# SENSORES ÓPTICOS

**Autores:**

Cleumar da Silva Moreira

Vitor Garcia



# 1 CONCEITOS



Os sensores ópticos apresentam vantagens em relação a outros tipos de sensores, tais como: baixo nível de ruído, alta velocidade de resposta, imunidade à interferência eletromagnética e ambiental, medida feita sem contato direto com o objeto e o fato de não possuírem desgaste. É constituído por um transmissor e um receptor de luz. Quando o feixe de luz entre transmissor e receptor é interrompido, um sinal é gerado no receptor. Há três tipos básicos de sensores ópticos discretos utilizados: sensores de barreira, em que transmissor e receptor estão alinhados e a distância entre ambos vai de alguns centímetros a centenas de metros; sensores de reflexão, em que transmissor e receptor estão no mesmo invólucro, a distância de detecção é de no máximo de 10 m e o objeto detectado deve ser espelhado; e sensores ópticos de difusão, em que transmissor e receptor também estão no mesmo invólucro e o alcance é de no máximo algumas dezenas de centímetros.

## 2 OBJETIVOS

- Apresentar as características de detecção dos sensores ópticos de reflexão difusa, em materiais com diferentes colorações e tamanhos;
- Avaliar a faixa de medição do sensor, considerando corpos brancos e escuros;
- Verificar o funcionamento de um *encoder* rotativo incremental;
- Calcular ângulo de rotação e velocidade do eixo de um motor a partir da posição do *encoder*.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do Item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	Sensor óptico de reflexão difusa
2	1	Multímetro
3	1	Fonte de alimentação
4	1	Régua milimetrada
5	1	Corpo sólido de cor branca, com dimensões 7 x 7 x 5 cm
6	1	Corpo sólido de cor preta, com dimensões 7 x 7 x 5 cm
7	1	Corpo sólido transparente, com dimensões 7 x 7 x 5 cm
8	1	Corpo sólido de cor amarela, com dimensões 7 x 7 x 5 cm
9	1	Corpo sólido de cor verde, com dimensões 7 x 7 x 5 cm



Número do Item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Encoder rotativo incremental com 3 polos
2	1	Osciloscópio
3	1	Arduino ou placa microcontrolada compatível
4	1	Motor DC

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas as bancadas a serem utilizadas estão em conformidade. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte atividade, serão desenvolvidas duas práticas envolvendo sensores ópticos, sendo, na primeira atividade, utilizado o sensor com reflexão difusa e, na segunda, o *encoder* óptico. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos.

### Atividade prática 1 – Sensor óptico com reflexão difusa

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

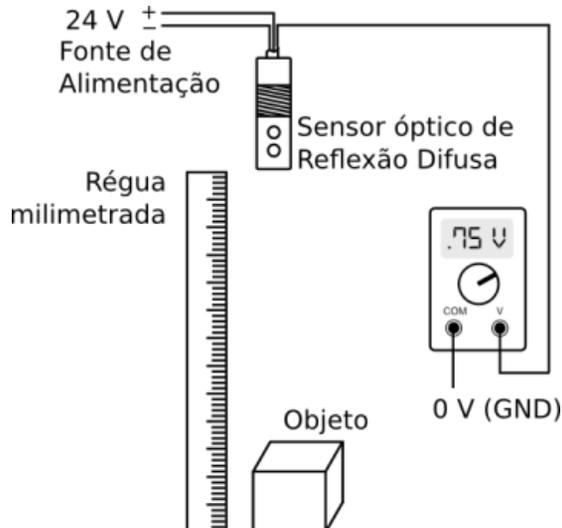
Os sensores ópticos discretos com reflexão difusa são utilizados na indústria para detecção de objetos. Trabalham normalmente com distâncias muito pequenas e não requerem que os objetos sejam refletivos. Nesta prática, será abordada a utilização desses tipos de sensores.

## Croquis



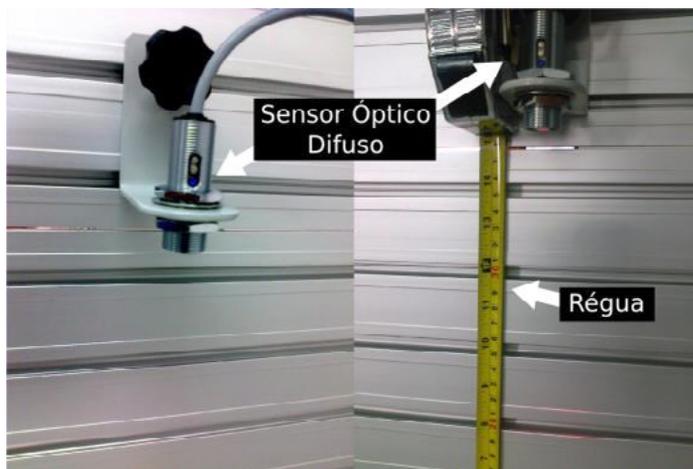
A Figura 6.1, esquema de ligação para a detecção de corpos sólidos usando sensor óptico de reflexão difusa, ilustra os elementos utilizados para a presente prática laboratorial.

**Figura 6.1** – Esquema de ligação para a detecção de corpos sólidos usando sensor óptico de reflexão difusa.



A Figura 6.2, foto ilustrativa da montagem, apresenta fotos do experimento realizado em que o sensor óptico difuso utilizado e a régua são apresentados.

**Figura 6.2** – Foto ilustrativa da montagem.



## Etapas

1. Ligue a fonte de alimentação ao sensor óptico sendo utilizado no experimento:
  - a) Verifique o valor da tensão de alimentação.
2. Fixe os componentes, de acordo com o *kit* didático, caso se aplique.

### 3. Efetue as ligações elétricas do sensor para a fonte de alimentação.

#### 4. Verificação:

- a) Ligue a fonte de alimentação;
- b) Aproxime o objeto a ser verificado da extremidade sensível do sensor. Verifique se ocorre detecção (acendimento do LED Amarelo) e alteração da tensão mostrada no multímetro;
- c) Caso o objeto seja detectado, encontre o limite de detecção do sensor, medindo com a régua a distância entre a extremidade do sensor e a peça;
- d) Insira os dados na Tabela 6.1 e repita os passos *b* e *c* até preenchê-la totalmente.



**Tabela 6.1** – Dados a serem inseridos.

Tipo de objeto	Material detectado (Sim/Não)	Distância (mm)
Corpo sólido de cor branca		
Corpo sólido de cor amarela		
Corpo sólido de cor verde		
Corpo sólido de cor azul		
Corpo sólido de cor vermelha		
Corpo sólido de cor transparente		
Corpo sólido de cor preta		

## Atividade prática 2 – Encoder óptico

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de Física e Matemática Conhecimentos de Programação em linguagem C

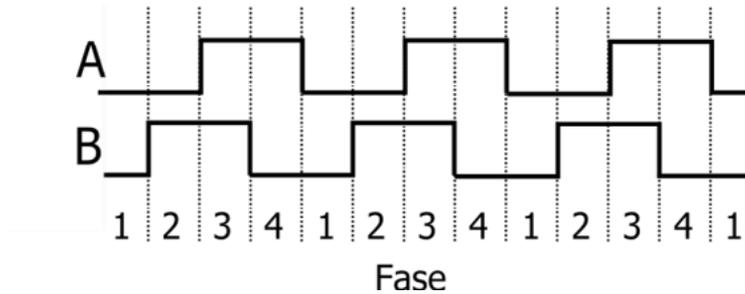
O *encoder* é um dispositivo que converte um movimento angular ou linear em um sinal analógico ou digital. Na Automação Industrial, é usado para a determinação de características do movimento (velocidade, posição, aceleração, direção e deslocamento) com grande precisão. Nesta atividade, abordaremos seu uso prático.

## Croquis



O *encoder* incremental rotativo é utilizado devido ao seu baixo custo e à capacidade de se obter, com seu sinal de saída, informações sobre velocidade, posição, aceleração e direção de um movimento angular. Possui normalmente duas saídas digitais A e B, que serão modificadas apenas quando o eixo do encoder estiver se movimentando. Essas saídas estão em quadratura, ou seja, seus sinais estão defasados de 90°. A Figura 6.3, formas de onda do *encoder*, mostra as duas formas de onda ao se girar o *encoder*.

**Figura 6.3** – Formas de onda do *Encoder*.



Alguns *encoders* possuem ainda uma terceira saída digital, que será acionada uma vez a cada volta. Essa saída é chamada de Z. Através da leitura e interpretação dos sinais A, B e Z, pode-se determinar a velocidade, a posição, a aceleração e a direção de rotação de um eixo.

## Etapas

### 1. Visualize as formas de onda dos sinais A e B e determine o sentido de rotação do motor:

- Acople o *encoder* no eixo do motor DC;
- Ligue o canal 1 do osciloscópio na saída A e o canal 2 na saída B;
- Ligue o motor DC;
- Visualize as duas formas de onda ao mesmo tempo. Desenhe as formas de onda;
- Inverta o sentido do motor DC;
- Repita o item *d*.

### 2. Visualize a forma de onda do sinal Z:

- Acople o *encoder* no eixo do motor DC;
- Ligue o canal 1 do osciloscópio na saída Z;
- Ligue o motor DC;
- Visualize a forma de onda do sinal Z e determine o seu período.



### 3. Utilize a interface computacional para contagem de pulsos dos sinais A e B:

- a) Copie a linha de comandos do Quadro 6.1 e carregue na placa microcontrolada;
- b) Acople o *encoder* no eixo do motor DC;
- c) Ligue a saída A no pino 12 do *Arduino* e a saída B no pino 13 da placa microcontrolada;
- d) Ligue o motor DC;
- e) Rode o programa no *Arduino* e abra a ferramenta *Monitor Serial*;
- f) Descreva o que ocorre;
- g) Inverta o sentido de rotação do motor DC;
- h) Descreva o que ocorre.

**Quadro 6.1** – Código da placa microcontrolada.

```

/* Leitura dos Sinais A e B
 * Código baseado em programa
 * adaptado de www.meso.net
 */
int encoder0PinA = 13;
int encoder0PinB = 12;
int encoder0Pos = 0;
int encoder0PinALast = LOW;
int n = LOW;
void setup()
{
  pinMode (encoder0PinA,INPUT);
  pinMode (encoder0PinB,INPUT);
  Serial.begin (9600);
}
void loop()
{
  n = digitalRead(encoder0PinA);
  if ((encoder0PinALast == LOW)
  && (n == HIGH)) {
    if (digitalRead(encoder0PinB)
    == LOW) {
      encoder0Pos--;}
    else {encoder0Pos++;}
    Serial.print (encoder0Pos);
    Serial.print ("\n");}
  encoder0PinALast = n;
}

```

#### 4. Utilize a interface computacional para contagem de pulsos do sinal Z:

- a) Copie a linha de comandos do Quadro 6.2 e carregue na placa microcontrolada;
- b) Acople o *encoder* no eixo do motor DC;
- c) Ligue a saída Z no pino 8 da placa microcontrolada;
- d) Ligue o motor DC;
- e) Rode o programa da placa microcontrolada e abra a ferramenta *Monitor Serial*;
- f) Descreva o que ocorre;
- g) Inverta o sentido de rotação do motor DC;
- h) Descreva o que ocorre.

**Quadro 6.2** – Código da placa microcontrolada.

```

/* Leitura do sinal Z do encoder
 * Programa adaptado de
 */ Max Wolf / www.meso.net
int val;
int encoder0PinZ = 8;
int encoder0Volta = 0;
int encoder0PinZLast = LOW;
int n = LOW;
void setup()
{
  pinMode (encoder0PinZ,IN-
  PUT);
  Serial.begin (9600);
}
void loop()
{
  n = digitalRead(encoder0PinZ);
  if ( (encoder0PinZLast == LOW)
  && (n == HIGH)) {
    {encoder0Volta++;}
    Serial.print (encoder0Volta);
    Serial.print ("\n");}
  encoder0PinZLast = n;
}

```

## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

Utilizar tomadas devidamente aterradas, conforme a NBR 14136:2002, devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.



### Atividade 1 – Sensor óptico com reflexão difusa

- Qual a influência do tamanho do objeto para sua detecção por um sensor óptico? Fazer testes com corpos de tamanho variados e cores idênticas.
- Que tipo de objeto é detectado com mais facilidade pelo sensor óptico? Qual é a razão para essa característica?

### Atividade 2 – *Encoder* Óptico

- Com base nas observações feitas no item 1 das Etapas, como se pode determinar o sentido de rotação de um motor a partir dos sinais de saída de um *encoder* rotativo incremental?
- Com base nas observações feitas no item 2 das Etapas, como se pode determinar a velocidade de um motor a partir dos sinais de saída de um *encoder* rotativo incremental?
- Procure no manual do *encoder* utilizado sua resolução. A partir dessa resolução, calcule o ângulo de rotação do motor, se forem contados 72 pulsos no *encoder*.
- Quantos pulsos devem ser dados no *encoder* para uma rotação de  $168^\circ$  do eixo do motor?

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, controle e automação de processos**. Editora LTC, 2005.

BISHOP, R. H. **The Mechatronics handbook**. New York: CRC Press, 2007.

CAPELLI, A. **Automação industrial**. São Paulo: Érica, 2008.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.



# CAPÍTULO 7

-

# TERMOSTATOS E PRESSOSTATOS

Autor:  
Vitor Garcia



# 1 CONCEITO DA AULA PRÁTICA



Os pressostatos, ou chaves de pressão, são equipamentos utilizados para proteção e controle em processos industriais. É normalmente constituído por sensor de pressão, mecanismo de ajuste de ponto de operação e contatos NA e NF. Ao se aplicar uma pressão acima (ou abaixo) do ponto de operação, o pressostato comuta os contatos. O ajuste da pressão normalmente é realizado por uma engrenagem próxima a uma mola dentro do equipamento, quando este é mecânico. Atualmente, existem pressostatos eletrônicos cujo ajuste pode ser feito via *software*.

Os termostatos são sensores discretos utilizados para manter a temperatura de um sistema dentro de uma faixa específica. De maneira semelhante ao pressostato, ele realiza essa tarefa através do acionamento de chaves que podem ligar e desligar aquecedores ou resfriadores, com a finalidade de aumentar ou diminuir a temperatura.

## 2 OBJETIVOS

- Verificar o funcionamento de um pressostato;
- Compreender os parâmetros de ajuste do pressostato;
- Verificar o funcionamento de um termostato;
- Ligar o termostato em um sistema de controle de temperatura e compreender seus parâmetros de ajuste.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do Item	Quantidade	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	Pressostato com ajuste de diferencial e ponto de atuação
2	1	Manômetro ou medidor de pressão
3	1	Linha de pressão ajustável
4	1	Ferramenta para ajuste do pressostato
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Termostato capilar (30-120 °C) com ajuste de ponto de atuação
2	4	Termômetro
3	1	Aquecedor elétrico de água
4	1	Reservatório de água
5	1	Cronômetro

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas as bancadas a serem utilizadas estão em conformidade. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, aquecedores, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos.



## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas duas atividades, sendo a primeira envolvendo a utilização prática de um pressostato, e a segunda envolvendo a ligação e uso de um termostato. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos.

### Atividade prática 1 – Pressostato

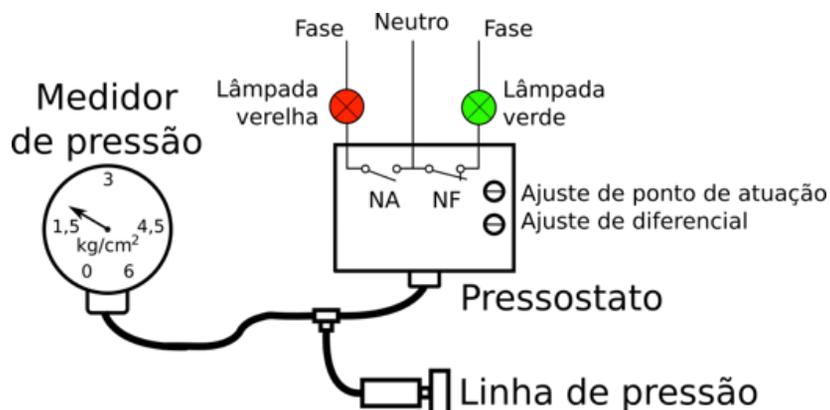
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos em física e instalações elétricas

Pressostatos são instrumentos eletromecânicos utilizados para proteger equipamentos contra sobrepressão ou subpressão. Os pressostatos medem a pressão do sistema e acionam um contato elétrico sempre que essa pressão está fora dos limites desejáveis, sendo este sensor abordado nesta atividade.

### Croquis

O esquema da Figura 7.1 será aqui utilizado.

**Figura 7.1** – Esquema para aplicação de pressostato.



## Etapas



### 1. Determinação do ponto de operação e diferencial do pressostato:

- a) Regule a pressão da linha para o mínimo;
- b) Faça a ligação do pressostato na linha de pressão, no medidor de pressão e nas lâmpadas, conforme o esquema acima;
- c) Aumente gradualmente a pressão da linha e observe o que ocorre. Anote a pressão em que a chave é comutada:

Ponto de atuação: \_\_\_\_\_

- d) Diminua a pressão gradualmente. Observe o que ocorre. Anote a pressão em que a chave é comutada novamente:

Ponto de atuação: \_\_\_\_\_

- e) Regule a pressão da linha para o mínimo.

### 2. Ajuste do ponto de operação do pressostato para 3 kg/cm<sup>2</sup>.

- a) Regule a pressão da linha para o mínimo;
- b) Com a ferramenta adequada, ajuste o ponto de operação do pressostato para o limite superior da faixa de operação;
- c) Regule a linha de pressão para a pressão desejada do ponto de operação (3 kg/cm<sup>2</sup>);
- d) Com a ferramenta adequada, diminua o ponto de operação do pressostato até a chave ser comutada. O ponto de operação do pressostato está ajustado para 3 kg/cm<sup>2</sup>;
- e) Diminua a pressão da linha gradualmente;
- f) Anote a pressão em que a chave é comutada novamente:

Ponto de atuação: \_\_\_\_\_

- g) Regule a pressão da linha para o mínimo.

### 3. Ajuste do diferencial do pressostato para 0,5 kg/cm<sup>2</sup>:

- a) Regule a pressão da linha para o mínimo;
- b) Com a ferramenta adequada, ajuste o diferencial para o limite superior da faixa de operação;
- c) Aumente a pressão da linha até a chave do pressostato ser comutada;
- d) Diminua a pressão da linha até 2,5 kg/cm<sup>2</sup>;



e) Com a ferramenta adequada, diminua o ponto de atuação do diferencial até a lâmpada ser comutada novamente. O ponto de operação do diferencial está ajustado para  $0,5 \text{ kg/cm}^2$ ;

f) Regule a pressão da linha para o mínimo.

#### 4. Verificação do ponto de operação e diferencial:

a) Repita o experimento 1 e verifique o ajuste realizado.

## Atividade prática 2 – Termostato

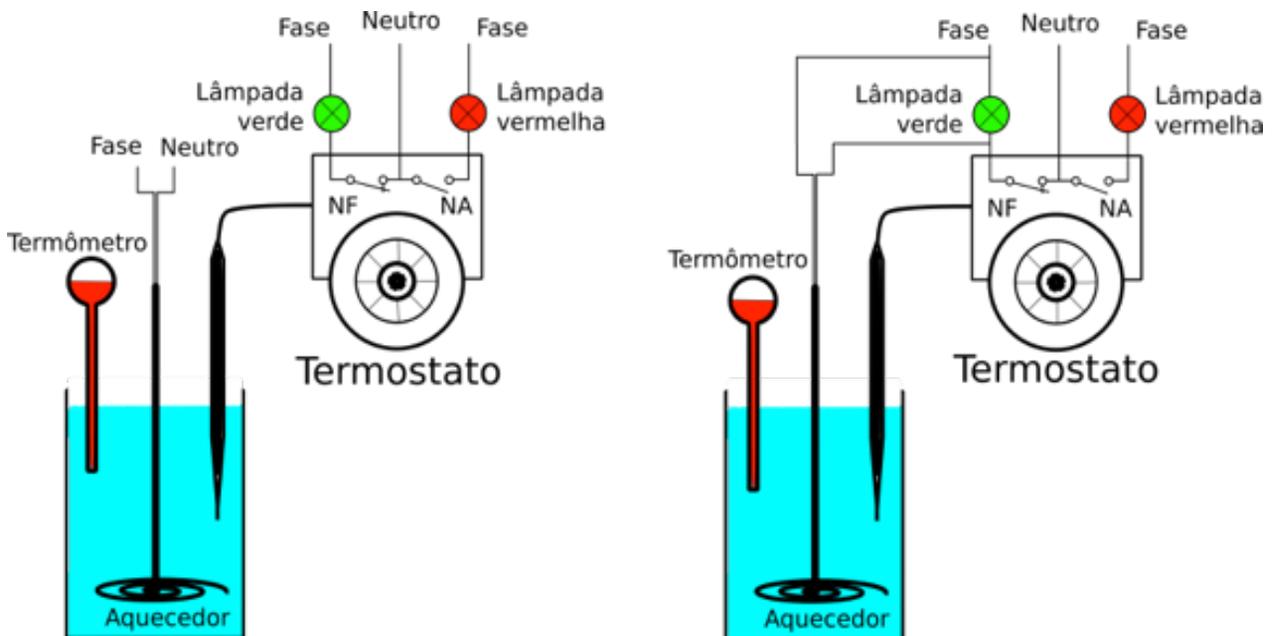
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de física Conhecimentos em instalações elétricas

Abordados nesta atividade, os termostatos são dispositivos utilizados para manter a temperatura de um sistema dentro de limites pré-estabelecidos, através da ligação ou não de contatos elétricos.

## Croquis

Os esquemas mostrados na Figura 7.2 serão aqui utilizados.

**Figura 7.2** – Diagramas experimentais utilizados para o termostato..



a) Diagrama 1

b) Diagrama 2



## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

Utilizar tomadas devidamente aterradas, conforme a NBR 14136:2002, devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório.



## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Pressostato

- Explique o funcionamento do pressostato, indicando suas partes constituintes.
- Ao se modificar o ponto de operação, o ajuste do diferencial é alterado?
- Ao se modificar o ajuste do diferencial, o ponto de operação é alterado?

### Atividade 2 – Termostato

- Explique o funcionamento do termostato, indicando suas partes constituintes.
- O termostato utilizado possui acionamento diferencial? Pesquise em catálogo de produtos um termostato com acionamento diferencial.
- O uso do termostato foi eficiente para o controle da temperatura? Sugira alterações no projeto para tornar o controle mais preciso.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Editora LTC, 2005.
- BISHOP, R. H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2007.
- CAPELLI, A. **Automação Industrial**. São Paulo: Érica, 2008.
- MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.



# CAPÍTULO 8

-

# SENSORES DE TEMPERATURA

**Autores:**

Gustavo Maia de Almeida

Jair Medeiros Júnior

Lennedy Campos Soares

Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

Tiago Reinan Barreto de Oliveira

Vitor Garcia



# 1 CONCEITO DA AULA PRÁTICA



Os sensores de temperatura são dispositivos que detectam mudanças em alguma variável (resistência, tensão, corrente, deformação, pressão etc.) e as relacionam com a variação da temperatura. Podem ser divididos em 3 grandes classes: resistivos, eletrônicos e eletromecânicos. Eles são amplamente utilizados nos mais diversos processos, seja químico, siderúrgico, farmacêutico, vidreiro, alimentício, de papel e celulose, nuclear entre outros. O entendimento do mecanismo de leitura de uma variável e de sua transmissão é fundamental para o controle e atuação em processos industriais, com vistas à produção de produtos de alta qualidade em ambientes de maior segurança e economicamente mais baratos.

## 2 OBJETIVOS

- Entender o funcionamento e a aplicação de alguns tipos de sensores de temperatura utilizados pela indústria;
- Efetuar ligações de sensores de temperatura;
- Compreender a transmissão do sinal analógico de temperatura através do comportamento da grandeza estudada a partir dos resultados obtidos;
- Fortalecer conhecimentos de sensores analógicos comparando os valores de temperatura (°C) e corrente (mA);
- Identificar como ocorre a leitura de um sensor eletrônico de temperatura LM 35.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a aula prática aqui proposta, os seguintes materiais e componentes elencados serão necessários:

Item	Quantidade	Descrição
1	1	Arduino ou placa microcontrolada compatível
2	1	LM35
3	-	Computador
4	1	Cabos jumper
5	2	Placa de prototipagem ( <i>proto-board</i> )
1	1	Sensor termopar 1 – norma x
2	1	Sensor termopar 2 – norma y
3	1	Sensor termopar 3 – norma z



4	1	Sensor termopar 4 – norma w
1	1	Pt-100
2	1	Banho Térmico
3	4	Cabos banana-jacaré
4	1	Calibrador de temperatura
1	2	Termopar tipo J
2	1	Multímetro Digital com escala de corrente de 20 mA
3	1	Recipiente para misturar água com gelo
4	1	Matriz de contatos ( <i>protoboard</i> )
5	1	Circuito integrado INA122
6	1	Resistor de 10 K $\Omega$
7	1	Resistor de 200 $\Omega$
8	1	Capacitor de 100 nF
9	1	Termômetro com sensor externo
10	1	Fonte simétrica de 12 V
11	1	Pirômetro óptico infravermelho com ajuste de emissividade
12	1	Transformador
13	1	Placa aquecedora ou ferro de passar
14	1	Fita isolante
15	1	Sensor de temperatura termopar tipo K e transdutor de 20 a 100 $^{\circ}\text{C}/4\text{-}20$ mA incorporado com indicação local (TIT)
16	1	Placa aquecedora
17	1	Fonte de alimentação de 24 Vcc

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O professor/técnico deverá providenciar todos os materiais e equipamentos elencados na Tabela 1. Cuidados deverão ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos. Verificar se todas as bancadas estão em boas condições de uso. Ademais, na atividade prática envolvendo o pirômetro de infravermelho, deve-se ter o maior cuidado com a segurança devido aos riscos de queimadura.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA



Para a realização da presente aula prática, serão desenvolvidas quatro atividades práticas envolvendo os conceitos de aquisição e transmissão de sensores de temperatura analógicos. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos, devendo obedecer às regras de utilização e segurança conforme regimento do laboratório. Neste caso, prevê-se um total de 30 alunos.

### Atividade prática 1 – Medição de nível com transmissor de pressão diferencial

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimento básico sobre sensores de temperatura e instrumentação

Os sensores baseados em elementos semicondutores utilizam características presentes em diodos e transistores. Essas características permitem criar sensores de tamanho reduzido que conseguem medir de forma razoavelmente linear temperaturas que vão de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  até  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e a constante de tempo varia de 1 a 5 segundos. Além disso, esses sensores são de baixo custo, possuem erro médio razoável, possuem vida útil prolongada e são robustos. Este roteiro utilizará um sensor de temperatura com semicondutores chamados de LM35, os quais possuem, de acordo com o *datasheet* da Texas Instruments, um erro médio de  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  na temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  e range de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ , além de trabalhar de forma linear com  $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ .

### Croquis

A atividade prática proposta utiliza os esquemáticos da Figura 8.1 e da Figura 8.2 para a ligação do CI LM35 à placa microcontroladora *Arduino*. A pinagem do *Arduino* é ilustrada na Figura 8.3.

Figura 8.1 – Esquemático de um sensor LM35.

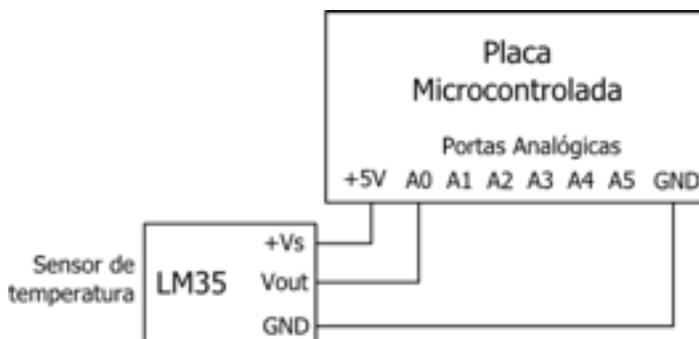


Figura 8.2 – Ligação de um sensor LM 35 no *protoboard* (produzida com o *software* Fritzing).

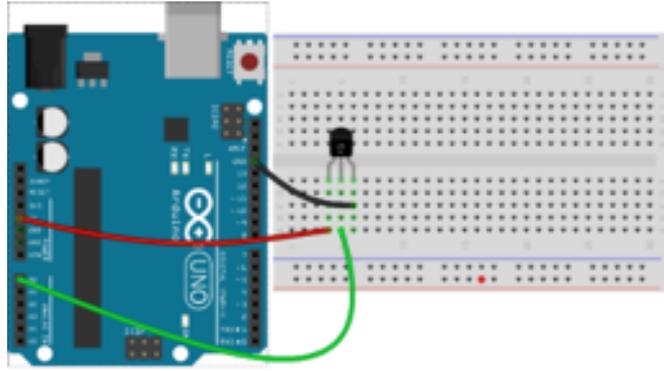
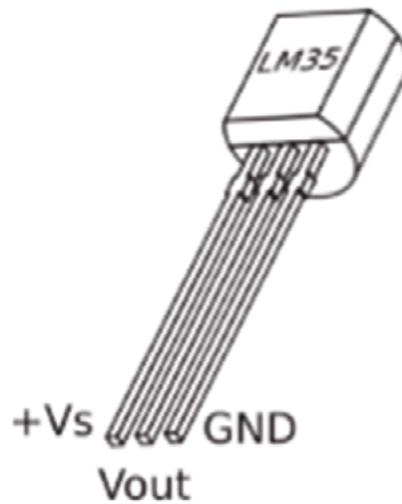


Figura 8.3 – Pinagem do LM 35.



## Etapas

### Gravação do código na placa microcontrolada

- a) Copiar o código do Quadro 8.1 para a IDE da placa microcontrolada:

**Quadro 8.1 – Código fonte para leitura de temperatura.**

```
const int LM35 = A0; // Ligar o LM35 no pino correspondente a porta analogica A0
const float REFRESH_RATE = 2; //Tempo de atualizacao entre as leituras em s
const float A = 0.4887585532746823069403714565; //Inclinacao da reta. Base de conversao para Graus
Celsius ((5/1023) * 100)
const float B = 0; //Zero do sensor

void setup() {
  Serial.begin(9600); //configuracao da comunicacao com o computador
}
void loop() {
  float temperatura = readTemperature(); //Funcao para ler a temperatura
  //Envio dos dados para o computador
  Serial.print("Temperatura: ");
  Serial.println(temperatura);
  delay(REFRESH_RATE*1000); //Tempo de espera
}
float readTemperature(){
  float x,y;
  x = analogRead(LM35);

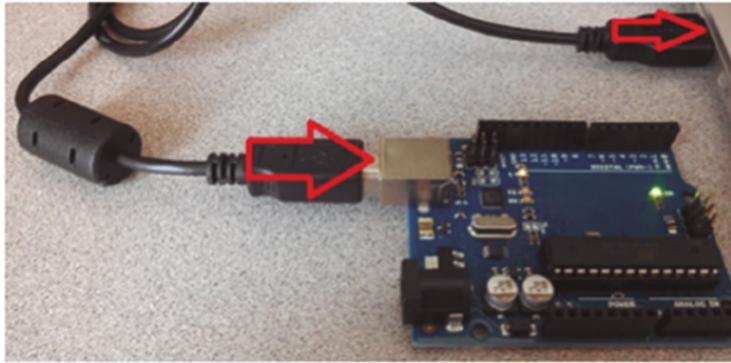
  y = A*x + B;

  return y;
}
```

b) Plugar cabo USB na placa microcontroladora e no computador (Figura 8.4):

□

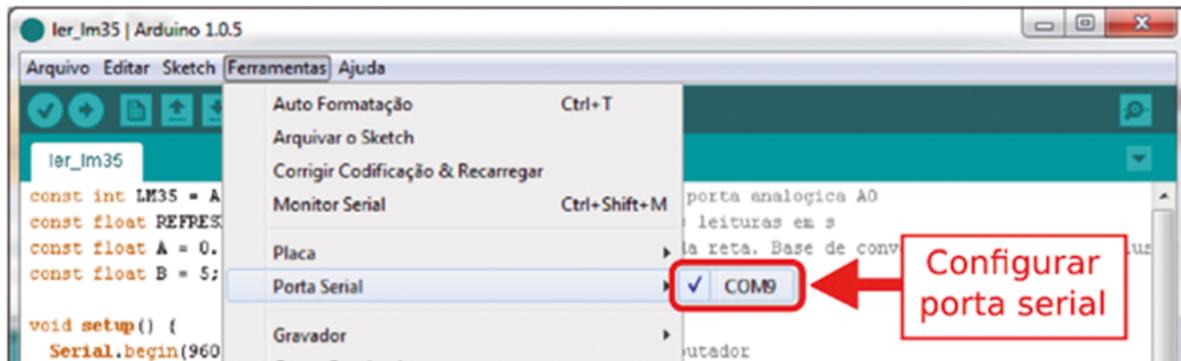
Figura 8.4 – Conexão do *Arduino* no computador.



c) Configurar a porta serial:

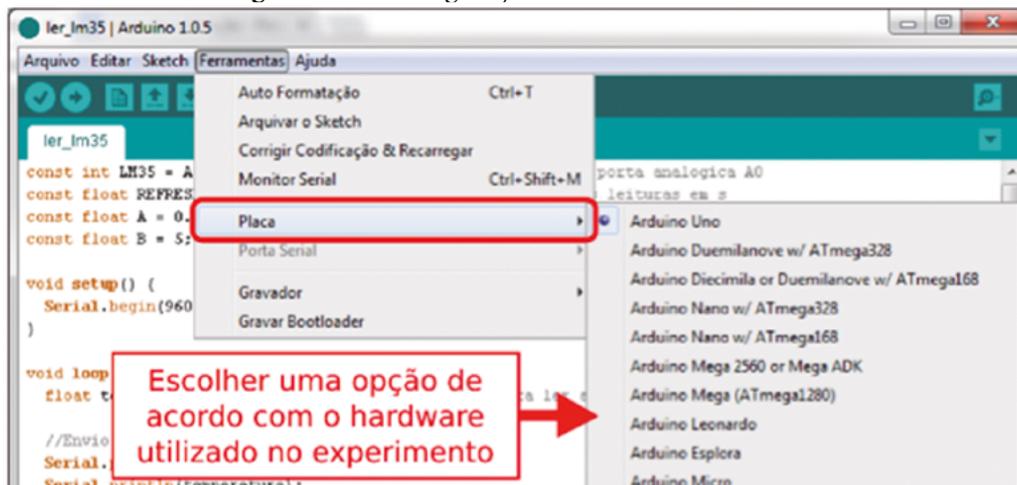
Para realizar a gravação do código e também fazer a comunicação entre a placa microcontrolada e o computador, é necessário configurar a porta serial que a placa microcontroladora irá utilizar. Para configurar a placa, deve-se clicar no menu, como exibido na Figura 8.5.

Figura 8.5 – Configuração da porta serial na IDE.



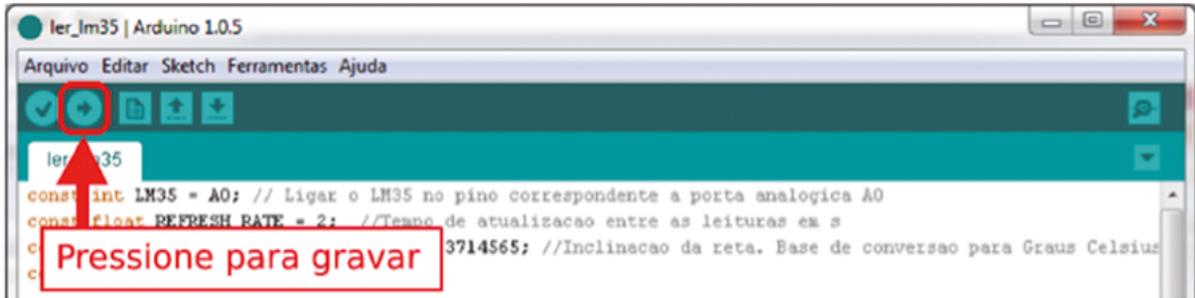
d) Configurar tipo de placa microcontroladora (Figura 8.6):

Figura 8.6 – Configuração do *hardware* na IDE.



e) Gravar o código na placa microcontroladora pressionando o botão indicado na Figura 8.7:

**Figura 8.7** – Botão da IDE para gravar *software* na placa microcontroladora



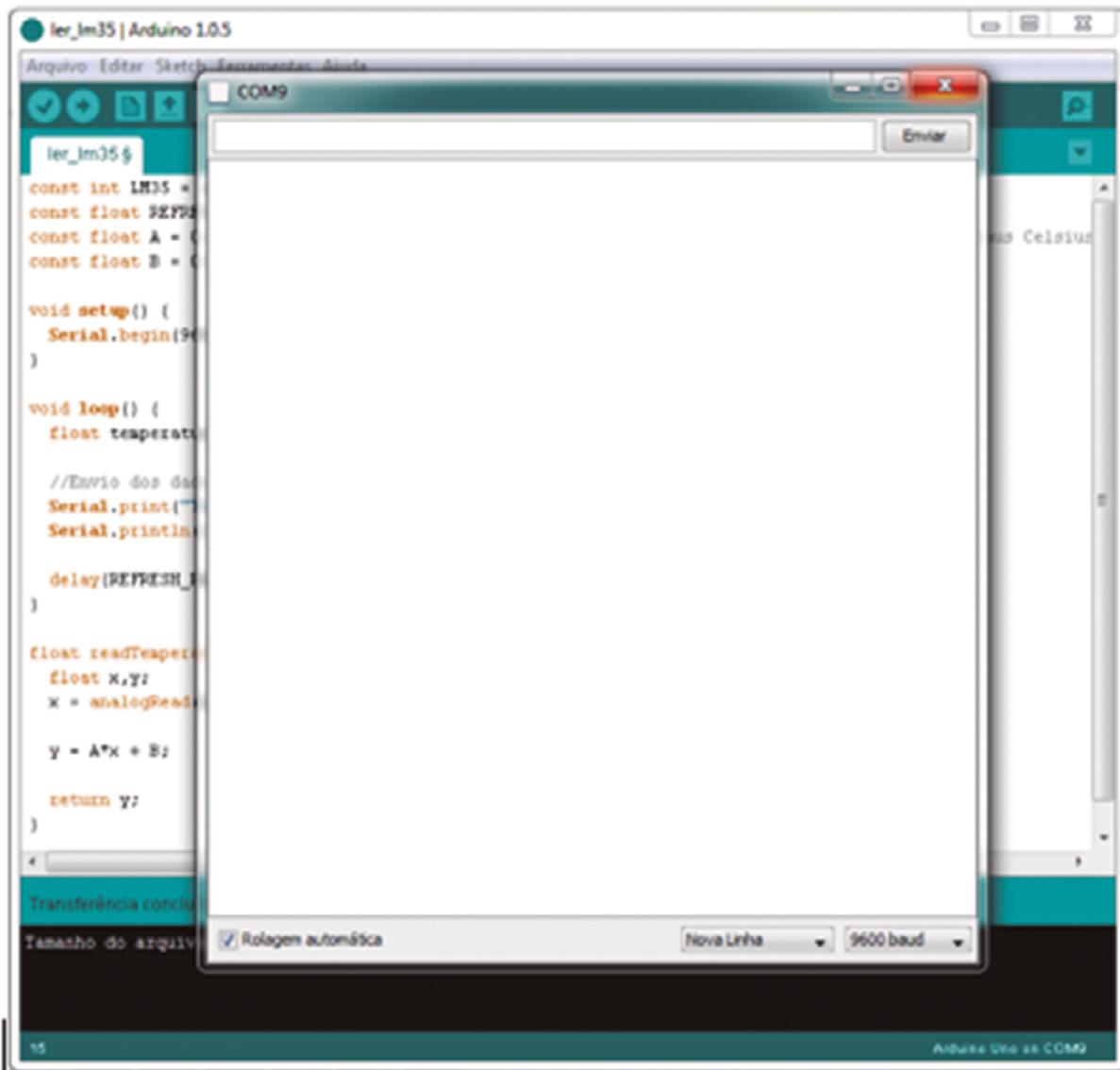
f) Ligar o sensor à placa microcontrolada. Conectar a placa microcontroladora, *jumpers* e o LM35 com o *protoboard*, de acordo com o esquema da Figura 8.2.

g) Abrir a tela de comunicação serial, como exibido na Figura 8.8:

**Figura 8.8** – Abrir tela de comunicação serial.



Figura 8.9 – Tela de comunicação serial.



### Medição da temperatura.

a) Utilizando o sensor LM35 para realizar medição de temperatura, preencha a Tabela 8.1 abaixo com a medida de temperatura em 3 ambientes diferentes:

Tabela 8.1 - Medição da temperatura.

Ambientes	Temperatura (°C)
Ambiente 1	
Ambiente 2	
Ambiente 3	

## Atividade Prática 2 – Calibração de um sensor de temperatura Pt-100

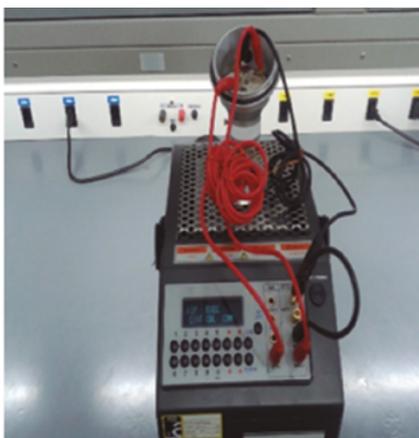


<b>Carga horária</b>	4 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Noções de calibração e de ligações elétricas

A calibração é um conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, 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.

### Croquis

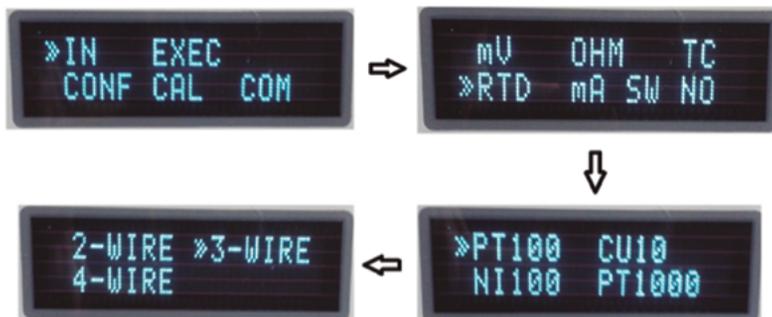
**Figura 8.10** – Ligação do Pt-100 no banho térmico.



### Etapas

- Fazer a ligação conforme a Figura 8.10, para que se possa gerar as temperaturas através do banho térmico, e comparar as medições do Pt-100 com o padrão;
- Selecionar a opção IN, RTD, Pt-100, 3 Wire (fios) no menu de entrada (Figura 8.11). Com a utilização do banho térmico, não é necessário selecionar o menu de saída, pois a saída será gerada pelo Probe do banho térmico.

**Figuras 8.11** – Selecionando o Pt-100 como entrada no banho térmico.





c) Gerar um estímulo (Figuras 8.12) correspondente ao menor valor de temperatura através do banho térmico e esperar pela estabilização (se configurado, o banho térmico irá emitir um aviso sonoro quando a temperatura estiver estabilizando; após o aviso sonoro, é aconselhado esperar cerca de 30 segundos);

**Figuras 8.12** – (a) Gerando o estímulo de menor temperatura; (b) Leitura do Pt-100 estabilizada.



d) Anotar a temperatura apresentada pelo Pt-100 (IN) e pelo Probe (OUT) e o erro relativo entre eles;

e) Repetir os passos c e d variando a temperatura em passos de 25%, levando-se em conta que o range de temperatura será de 50 oC a 150 oC, e completar a Tabela 8.2:

**Tabela 8.2** – Dados do experimento prático.

Temperatura (°C)	Pt-100	Probe	Erro Relativo
50			
75			
100			
125			
150			
125			
100			
75			
50			

f) Traçar a curva de histerese do instrumento.

### Atividade Prática 3 – Ligação do Pt-100

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

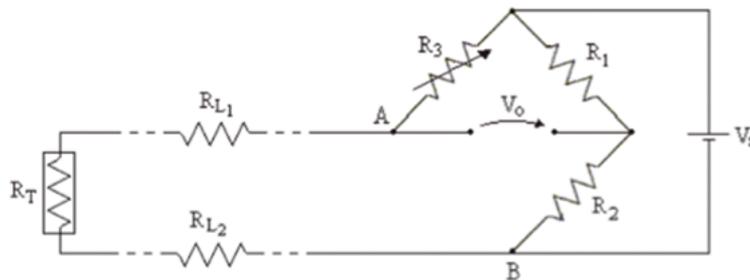
As termorresistências são amplamente utilizadas para medição de temperatura em diversas

aplicações industriais. O Pt-100 é uma das termorresistências mais utilizadas. Elas são fabricadas com platina (Pt) e apresentam resistência de 100 Ohms a 0 °C. Caracterizam-se pela alta precisão, grande estabilidade e larga faixa de medição.

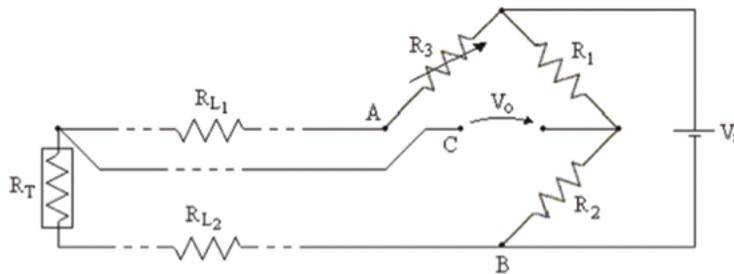
A detecção da variação da resistência do Pt-100 pela temperatura se dá através de circuitos condicionadores de sinais. Tais circuitos, baseados na ponte de Wheatstone, estão normalmente localizados longe do local de instalação do Pt-100. Esse fato poderá influenciar significativamente a precisão das medidas.

## Croquis

**Figura 8.13 – Ligação a dois fios.**



**Figura 8.14 – Ligação a dois fios.**



**Tabela 8.3 – Resistência ( $\Omega$ ) vs. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) para Pt-100.**

$^{\circ}\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,21	110,51	110,9	111,29
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	114,00	114,38	114,77	115,15
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,86	118,24	118,63	119,01
50	119,40	119,78	120,17	120,55	120,94	121,32	121,71	122,09	122,47	122,86

## Etapas

- a) Ligue o termômetro e monitore a temperatura ambiente;
- b) Monte o circuito a dois fios, considerando  $R_1 = R_2 = 100 \Omega$  e  $R_3$  sendo o Potenciômetro de  $200 \Omega$ . Os resistores  $RL_1$  e  $RL_2$  do circuito representam as resistências dos fios que ligam o Pt-100 ao circuito condicionador. Considere que inicialmente  $RL_1$  e  $RL_2 = 0$  e que  $R_T$  representa a resistência do Pt-100;
- c) Alimente o circuito com a fonte  $V_s$  de 5 V. Com o voltímetro medindo a tensão  $V_0$ , ajuste  $R_3$  de modo que o voltímetro leia 0 V. Nesse ponto, a ponte estará em equilíbrio. Desligue a fonte, retire  $R_3$  do circuito e meça a sua resistência;
- d) Encontre na tabela a resistência de valor mais próximo da obtida para  $R_3$  e anote a temperatura correspondente. Anote a temperatura medida pelo termômetro;
- e) Monte novamente o circuito a dois fios, desta vez considerando que o Pt-100 está montado distante da ponte. Para isso, insira as resistências  $RL_1$  e  $RL_2$  de valor  $4,7 \Omega$ . Elas representam a resistência dos fios.
- f) Repita os passos *c* e *d*;
- g) Monte o circuito a três fios (Figura 8.14), mantendo as resistências  $RL_1$  e  $RL_2$  de  $4,7 \Omega$ ;
- h) Repita os passos *c* e *d*.



## Atividade prática 4 – Identificação de termopares

<b>Carga horária</b>	1 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Noções de funcionamento dos termopares

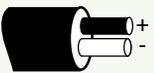
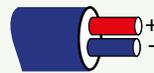
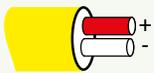
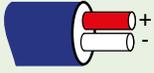
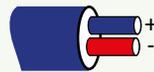
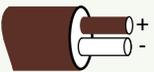
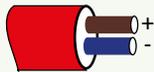
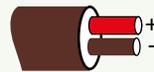
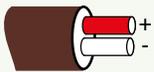
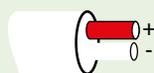
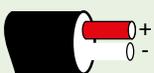
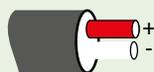
Os termopares são sensores de temperatura baseados na união de ligas metálicas, nas quais se manifesta o efeito Seebeck. Devido à sua larga faixa de medição e robustez mecânica, os termopares estão presentes em uma vasta gama de aplicações industriais, onde a medição de temperatura se faz necessária. A identificação correta do termopar entre os diversos tipos existentes é fundamental para o processo de calibração e para a aplicação desse tipo de sensor. Essa prática aborda as diferentes normas de identificação dos termopares.

## Apresentação de padrões

Os fabricantes de termopar utilizam as cores das capas dos fios para identificar a liga metálica utilizada pelo termopar. Entretanto, diversos padrões foram estabelecidos, o que exige atenção do usuário no momento da identificação do termopar. A Tabela 8.4 mostra as cores adotadas para cada tipo de termopar em diversas normas.



Tabela 8.4 – Normas para identificação de termopares.

TIPO	LIGAS		NORMA				
	FIO +	FIO -	 ANSI MC-96.1	 584-3	 BS 1843	 DIN 43710	 JIS C1610
J	Fe	Cu-Ni42 (Constantan)					
K	Ni-Cr10	Ni95-Mn2-Si1-Al2 (Alumel)					
T	Cu	Cu-Ni42 (Constantan)					
E	Ni-Cr10	Cu-Ni42 (Constantan)					
N	Ni84.4-Cr14.2-Si1.4 (Nicrosil)	Ni95.5-Si4.4-Mg0.1 (NiSi)				Não estabelecido	Não estabelecido
R	Pt-Rh13	Pt					
S	Pt-Rh10	Pt					
B	Pt-Rh30	Pt-Rh6.1			Não estabelecido		

## Etapas

a) Colocar sobre a bancada os termopares. Caso necessário, retirar parte da proteção externa do cabo de modo que as cores dos dois cabos internos possam ser visualizadas, conforme exemplo da Figura 8.15:

Figura 8.15 – Visualização dos cabos internos do termopar.



b) Tendo como referência a Tabela 8.4, identificar os termopares e preencher a Tabela 8.5;

Tabela 8.5 – Dados a serem preenchidos

Termopar	Tipo (ligas)	Norma	Cor do terminal positivo	Cor do terminal negativo
1				
2				
3				
4				

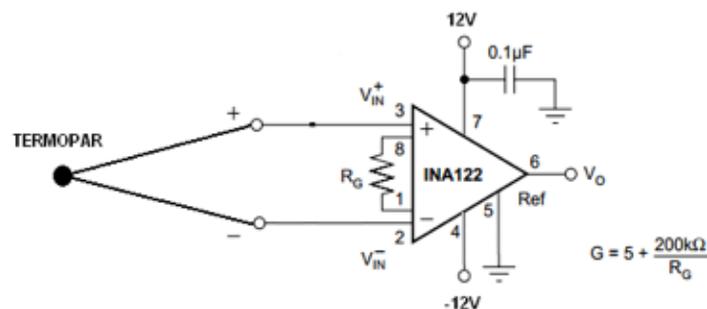
## Atividade prática 5 – Ligação e associação de termopares

Carga horária	2 horas
Pré-requisitos	Noções de funcionamento dos termopares

### Croquis

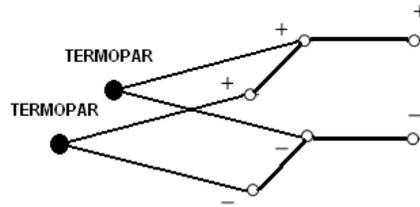
Montagem simples.

Figura 8.16 – Circuito de ligação do termopar e amplificação.



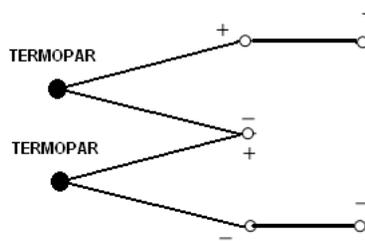
Montagem em paralelo.

**Figura 8.17** – Montagem da associação em paralelo.



Montagem em série.

**Figura 8.18** – Montagem da associação em série.



Cálculo da temperatura na junta de medição:

$$\Delta V = V_0 / G \quad \text{Equação 8.1}$$

$$\Delta V = E_m - E_r \quad \text{Equação 8.2}$$

$$E_m = \Delta V + E_r \quad \text{Equação 8.3}$$

Sendo a temperatura uma função da tensão, tem-se:

$$T_m = \Delta T(\Delta V) + T_r \quad \text{Equação 8.4}$$

em que:

$T_m$  = temperatura da junta de medição;

$T_r$  = Temperatura da junta de referência;

$\Delta T$  = Diferença de temperatura entre as juntas;

$\Delta V$  = Diferença de tensão gerada entre as juntas;

$E_m$  = Tensão gerada pela junta de medição;

$E_r$  = Tensão gerada pela junta de referência;

$V_0$  = Tensão na saída do amplificador de instrumentação;

$G$  = Ganho do circuito de amplificação.

A Tabela 8.6 fornece a relação Temperatura x Tensão do termopar tipo J:

**Tabela 8.6** – Relação Temperatura x Tensão do termopar tipo J.

°C	0	±1	±2	±3	±4	±5	±6	±7	±8	±9
-30	-1,481	-1,529	-1,578	-1,626	-1,674	-1,722	-1,770	-1,814	-1,865	-1,913
-20	-0,995	-1,044	-1,093	-1,142	-1,190	-1,239	-1,287	-1,336	-1,384	-1,433
-10	-0,507	-0,550	-0,600	-0,650	-0,699	-0,749	-0,798	-0,847	-0,896	-0,946
-0	0	-0,050	-0,101	-0,151	-0,201	-0,251	-0,301	-0,351	-0,401	-0,451
0	0	0,050	0,101	0,151	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,456
10	0,507	0,558	0,609	0,660	0,711	0,762	0,814	0,865	0,916	0,968
20	1,019	1,071	1,122	1,174	1,226	1,277	1,329	1,381	1,433	1,485
30	1,537	1,589	1,641	1,693	1,745	1,797	1,894	1,902	1,954	2,006



## Etapas

a) Montar o circuito da Figura 8.16. Adote o valor de 200 Ω para RG;

b) Anotar na Tabela 8.7 o valor da temperatura ambiente medida pelo termômetro. Em um recipiente de aproximadamente 2 litros, fazer uma mistura de água e gelo fundente. Monitorar a temperatura até que ela se estabilize em aproximadamente 0 °C;

c) Inserir o termopar tipo J na mistura e monitorar a tensão de saída do circuito com o voltímetro. Esperar até que o termopar atinja equilíbrio térmico com a mistura e anotar o valor de tensão V0 e a temperatura da mistura na Tabela 8.7;

d) Fazer uma associação em paralelo com os termopares tipo J, conforme a Figura 8.17. Manter um termopar na mistura de água e gelo e outro fora da mistura. Anotar o valor de tensão V0 e a temperatura da mistura na Tabela 8.7;

e) Fazer uma associação em série dos termopares conforme a Figura 8.18. Insira os dois termopares na mistura e monitore a tensão de saída do circuito com o voltímetro. Espere até que os termopares atinjam equilíbrio térmico com a mistura e anote o valor da tensão V0 e a temperatura da mistura na Tabela 8.7.

**Tabela 8.7** – Resultados obtidos.

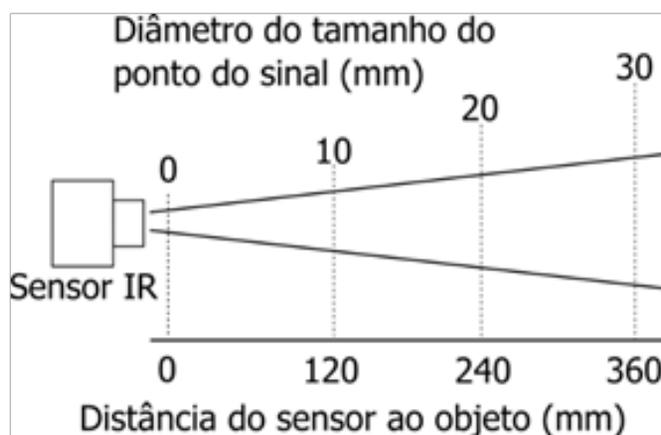
Temperatura ambiente (°C)					
Montagem	Tensão Voltímetro (V)	Tensão/G ΔV (mV)	Temp. Tabela ΔT (°C)	Temp. Mistura Tm (°C)	Temp. Mistura Termômetro (°C)
Simplex					
Paralelo					
Série					

## Atividade prática 6 – Medição de temperatura através de pirômetro infravermelho

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de física

Quando for realizar a medida de temperatura utilizando um pirômetro, deve-se prestar atenção na relação entre distância e área de medição. Os pirômetros apresentam uma relação fixa entre área de medição e distância do objeto. Essa relação é normalmente definida pela sigla D:S. De maneira geral, se o pirômetro possui uma D:S de 12:1, então, a uma distância de 300 mm, a área medida será de 25 mm. Alguns pirômetros possuem uma descrição mais precisa da relação D:S, como podemos ver na Figura 8.19.

**Figura 8.19** – Relação entre a área de medição e a distância do objeto do pirômetro.



## Emissividade do material

A emissividade térmica é uma característica do material que mostra a eficiência da emissão de energia térmica através de sua superfície. Um corpo negro, que é um corpo ideal, possui emissividade igual a 1. Um corpo negro não reflete energia térmica. Ele absorve a energia térmica do ambiente e emite apenas sua própria radiação térmica.

Os materiais possuem emissividade entre 0 e 1. Por exemplo, uma panela de alumínio terá uma emissividade mais baixa que uma panela revestida por material antiaderente. Existem tabelas que definem a emissividade de diferentes materiais e podem ser encontradas na *Internet*.

## Etapas

Realizar medidas da temperatura de um objeto aquecido em diferentes distâncias.

- a) Ligar um transformador abaixador de tensão (127 V ou 220 V/12 V) em uma carga de modo que a potência nominal do transformador seja atingida;
- b) Esperar que o transformador aqueça;
- c) Verificar no manual de instruções do seu pirômetro qual a especificação D:S;
- d) Montar e preencher a tabela abaixo, conforme os seguintes procedimentos:
  - i) Para diferentes distâncias, medir a temperatura do transformador;
  - ii) Verificar no manual do pirômetro o valor da relação D:S;
  - iii) Calcular o diâmetro da medida para cada distância;



**Tabela 8.8** – Tabela com valores práticos do experimento.

<b>Distância (cm)</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>
Temperatura									
Área medida									

**Fazer o ajuste de emissividade (CUIDADO! RISCO DE QUEIMADURA!)**

- a) Pegar um ferro de passar roupa e colocá-lo na temperatura mais baixa possível;
- b) Com um medidor de temperatura, medir a temperatura do ferro de passar:

**T (medidor) = \_\_\_\_\_**

- c) Respeitando a distância e a área de medição, medir a temperatura do ferro com o pirômetro:

**T (pirômetro) = \_\_\_\_\_**

- d) Pesquisar o tipo de material do ferro de passar e a sua emissividade:

**Material:** \_\_\_\_\_

**Emissividade:** \_\_\_\_\_

- e) Ajustar a emissividade do pirômetro e refazer a medida:

**T (pirômetro, ajustada) = \_\_\_\_\_**



**Obs.:** Muitos pirômetros possuem emissividade fixa em 0,95. Uma forma de contornar essa limitação é utilizar uma fita isolante, que possui emissividade próxima desse valor.

f) Colar a fita isolante no ferro de passar frio

(ATENÇÃO: Verifique se a temperatura do ferro de passar não irá danificar a fita)

g) Ligar o ferro na temperatura mínima;

h) Ajustar a emissividade do pirômetro para 0,95;

i) Meça a temperatura da fita isolante com o pirômetro;

T (fita isolante, pirômetro) = \_\_\_\_\_

## Atividade Prática 7 – Condicionamento de sinal de sensor termopar

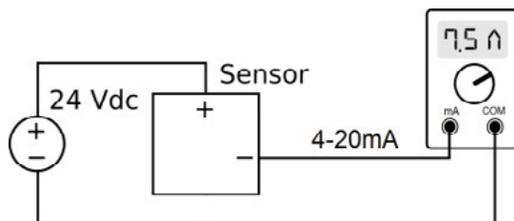
**Carga horária** 2 horas

**Pré-requisitos** Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

Nesta primeira atividade, utilizaremos sinais analógicos gerados por um sensor de temperatura do tipo Termopar, que transforma a grandeza física temperatura em sinais de tensão na escala de milivolts, com o auxílio de um transdutor e condicionaremos esse pequeno sinal elétrico (mV) para um sinal elétrico industrial de 4 a 20 mA.

### Croquis

**Figura 8.20** – Esquema de ligação.



**Figura 8.21** – Exemplo de montagem.



## Etapas



- a) Inicialmente, deve-se analisar o sensor, verificar onde está localizada a indicação local, observar as conexões do sensor com relação à tensão de alimentação, à polaridade do cabeamento de alimentação e ao tipo de sinal de saída;
- b) Assegure-se de utilizar um modelo com indicação e saída de sinal analógico de 4 a 20 mA;
- c) Energização do sensor e testes de indicação de distância: faça a conexão da fonte 24 VCC no sensor TIT, conforme indicado no esquema da Figura 8.17, montagem da associação em paralelo, com exemplo de montagem na Figura 8.18, montagem da associação em série;
- d) Com o multímetro digital na escala de corrente 20 mA, através de cabos de ligação, faça a conexão entre o multímetro e a saída analógica do sensor. Analise o sinal de saída de corrente e sua relação com a temperatura medida a partir da indicação no sensor;
- e) Aquecer o sensor aproximando-o da placa aquecedora;
- f) Com o sensor conectado à placa aquecedora, registre na Tabela 8.9 as correntes indicadas no multímetro.

**Tabela 8.9** – Corrente indicada.

Temperatura (°C)	Valor de corrente (mA)
30 °C	
40 °C	
50 °C	
60 °C	
70 °C	
80 °C	

## 6 SUGESTÃO PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA (QUESTIONÁRIO)



### Atividade 1 – Sensor de temperatura LM-35

- a) Quando houver uma variação na temperatura que dure 1s, nem sempre será possível observar uma mudança nos valores observados. Quais os motivos para que isso ocorra?
- b) Pode-se utilizar o esquema apresentado, utilizando o LM-35, para ter a leitura em Fahrenheit? Em caso afirmativo, o que deve ser feito para que isso seja possível?

### Atividade 2 – Calibração de um sensor de temperatura Pt-100

- a) Qual o objetivo de se realizar a calibração nos instrumentos?
- b) Em uma Empresa X, o máximo erro relativo permitido para o instrumento usado é de 0,1% da leitura. Depois dos cálculos feitos, você usaria este instrumento em seu processo?
- c) Realize os mesmos passos acima; porém, escolha como entrada o parâmetro Ohm e compare o valor medido pelo Pt-100 em ohm com os valores de tabela do Pt-100. Monte uma tabela variando de 50 °C a 150 °C, em passos de 25%, na ascendência e descendência.

### Atividade 3 – Ligação do Pt-100

- a) Considerando as resistências dos fios desprezíveis ( $RL1 = RL2 = 0$ ), obtenha a função  $V_0$  ( $V_s, R_T, R_1, R_2, R_3$ ) para montagem a dois fios;
- b) Mostre que, para  $V_0 = 0$  V e  $R_1 = R_2$ , o valor de  $R_3$  é igual a  $R_T$ ;
- c) Considerando as resistências dos fios, obtenha a função  $V_0$  ( $V_s, R_T, R_1, R_2, R_3, RL1, RL2$ ) para a montagem a dois fios;
- d) Mostre que, para  $V_0 = 0$  V e  $R_1 = R_2$ , o valor de  $R_3$  é igual à soma  $RL1 + RL2 + R_T$ ;
- e) Compare os valores das temperaturas obtidas pela montagem a dois fios desprezando e considerando a resistência dos fios com a temperatura do termômetro. Comente. Qual o erro percentual cometido por ambas as montagens em relação ao valor lido pelo termômetro?
- f) Considerando a montagem a três fios com resistência, encontre a função  $V_0$  ( $V_s, R_T, R_1, R_2, R_3, RL1, RL2$ );
- g) Mostre que, na montagem a três fios, para  $V_0 = 0$ ,  $R_1 = R_2$  e  $RL1 = RL2$ , o valor de  $R_T = R_3$ ;
- h) Compare o valor medido da temperatura na montagem a três fios com resistência ao valor da temperatura no termômetro. Comente.

## Atividade 4 – Identificação de termopares

- Qual o percentual dos elementos que compõem os terminais positivo e negativo de cada termopar identificado?
- Em que o padrão japonês difere dos demais padrões?
- Qual a identificação (tipo e polaridade dos terminais) de um termopar com a capa externa em azul, e os cabos internos nas cores azul e vermelha? Esse mesmo termopar pode ser classificado como sendo de mais de um tipo? Caso afirmativo, como você faria pra resolver o impasse?
- Segundo a norma IEC 584-3, quais as cores da capa, terminal positivo e terminal negativo de um termopar tipo K?
- Quais as cores de um termopar no padrão DIM que tem em sua composição aproximadamente 6% do elemento Ródio em um dos terminais?



## Atividade 5 – Associação de Termopares

- Qual o ganho obtido pelo amplificador de instrumentação quando a resistência  $R_G$  vale  $200 \Omega$ ? Utilize a equação de ganho presente na Figura 8.16;
- Preencha a Tabela 8.7 de acordo com as Equações 1 e 4, calculando as tensões geradas pelos termopares  $\Delta V$  e encontrando a temperatura ( $\Delta T$ ) correspondente na tabela. Na sequência, calcule  $T_m$ . Caso não encontre o valor exato da tensão na tabela, use o valor mais próximo encontrado;
- Para a montagem simples, compare a tensão  $T_m$  obtida pelo termopar com a temperatura medida pelo termômetro. Comente;
- Qual a temperatura obtida  $T_m$  para a montagem com os termopares em paralelo? Qual a relação do valor obtido com as temperaturas ambiente e da mistura? Comente;
- O que acontece com a tensão na saída, na ligação em série, em relação à montagem de um único termopar? Pode-se afirmar que a temperatura medida será o dobro? Comente.

## Atividade 6 – Medição de temperatura através de pirômetro infravermelho

- Pesquise 5 aplicações para os pirômetros de radiação;
- Escolha uma das aplicações do item 1 e defina qual o pirômetro a ser utilizado com base nas seguintes características: temperatura a ser medida, temperatura ambiente, sujeiras no ambiente, emissividade do material, tamanho do objeto, distância do objeto;
- Pesquise na *Internet* um pirômetro que satisfaça as necessidades de sua aplicação.

## Atividade 7 – Condicionamento de sinal de sensor termopar



- a) Analise o circuito e indique o caminho da corrente;
- b) Com base nos dados da Tabela 8.9, trace um gráfico da relação entre a temperatura e a corrente;
- c) Qual seria a equação de reta ( $y = Ax + B$ ) correspondente a essa relação, considerando:  $A =$  ganho proporcional (span) e  $B =$  defasagem em relação ao zero (zero)?
- d) Explique o condicionamento do sinal.

# CAPÍTULO 09

—

# AJUSTE E APLICAÇÃO DE UM TRANSMISSOR DE PRESSÃO ANALÓGICO

**Autores:**

Gustavo Maia de Almeida

Marco Antonio de Souza Leite Cuadros

Jessé de Pelegrin



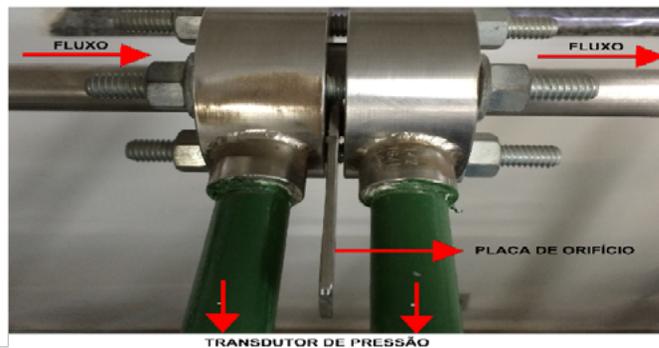
# 1 CONCEITOS



A calibração é um conjunto de operações que estabelece, sob condições especificadas, 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. Ajuste é um conjunto de operações efetuadas num sistema de medição, de modo que ele forneça indicações prescritas correspondentes a determinados valores duma grandeza a ser medida.

A medição de vazão num sensor composto com uma placa de orifício ocorre pela circulação de um fluido por uma tubulação e, em virtude da obstrução, um aumento de pressão é verificado e pode ser medido. Portanto, a pressão medida pode ser relacionada com a vazão. O sensor por placa de orifício é bastante utilizado no meio industrial devido ao seu baixo custo. A Figura 9.1, instalação do sensor de vazão placa de orifício, apresenta a placa de orifício instalada em uma tubulação, direcionando o diferencial de pressão para um transdutor de pressão.

**Figura 9.1** – Instalação do sensor de vazão placa de orifício.



Para se determinar a vazão numa placa de orifício, a Equação 9.1 é utilizada:

$$Q = v \cdot A \quad \text{Equação 9.1}$$

Em que Q é a taxa de vazão, v é a velocidade média e A é a área de seção transversal do orifício. O mesmo cálculo pode ser realizado também com a Equação 9.2:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Equação 9.2}$$

Em que Q é a taxa de vazão, V é o volume e t é o tempo de transferência do volume.

## 2 OBJETIVOS

- Ajustar um transmissor de pressão analógico para trabalhar em uma faixa de medição (*range*) específica;
- Entender o funcionamento de um sensor de vazão com placa de orifício.

### 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Tabela 9.1 – Materiais e componentes.

Atividade prática 1		
Número do item	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	1	Transmissor de pressão
2	1	Gerador de pressão
3	4	Cabos banana-jacaré
4	1	Calibrador de pressão

Atividade prática 2		
Número do item	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
5	1	Sensor de vazão; placa de orifício.
6	2	Recipiente com líquido
7	1	Bomba elétrica
8	1	Cronômetro

### 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O professor/técnico deverá providenciar todos os materiais e equipamentos elencados na Tabela 9.1. Os procedimentos apresentados deverão ser seguidos e deve-se ter cuidado na ligação do transmissor de pressão com o calibrador de pressão. Verificar se todas as bancadas estão em boas condições de uso.

### 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DAS AULAS PRÁTICAS

Para a realização da presente aula prática, será desenvolvida apenas uma atividade prática, envolvendo os conceitos de transmissores de pressão analógicos e de sua calibração. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos, devendo obedecer às regras de utilização e segurança, conforme regimento do laboratório. Neste caso, prevê-se um total de 30 alunos.



# ATIVIDADE PRÁTICA 1 – AJUSTE DE UM TRANSMISSOR DE PRESSÃO ANALÓGICO

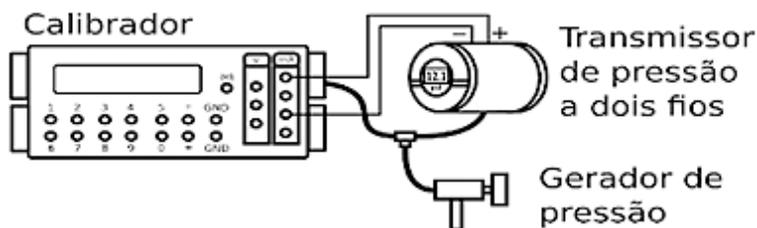


Carga horária	Pré-requisitos
4 horas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Noções de calibração;</li> <li>Noções de circuitos elétricos.</li> </ul>

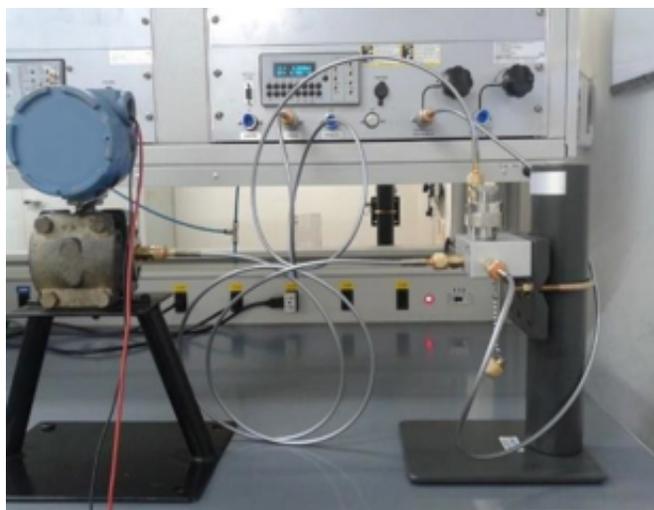
## CROQUIS

A atividade prática proposta utiliza os esquemáticos da Figura 9.2, circuito para calibração, e da Figura 9.3, circuito ligado na bancada, para o circuito de calibração e a ligação na bancada, respectivamente.

**Figura 9.2 – Circuito para calibração**



**Figura 9.3 – Circuito ligado na bancada.**

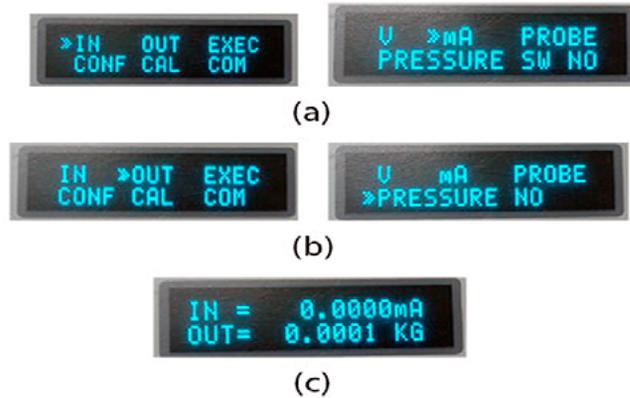


## ETAPAS

a) Fazer a ligação ilustrada na Figura 9.2, circuito para calibração, com o objetivo de ajustar transmissores de pressão a dois fios. Fazer a alimentação do transmissor;

b) Selecione **mA** (corrente) no menu de entrada e *Pressure* (pressão) (Figuras 9.4 – (a) Seleção da entrada como corrente, (b) Seleção da saída como pressão, (c) *Display* final.);

**Figuras 9.4** – (a) Seleção da entrada como corrente, (b) Seleção da saída como pressão, (c) *Display* final.



c) Aplicar um estímulo correspondente ao menor valor do *range* do instrumento e esperar estabilizar;

d) Mover o ajuste de zero (Figura 9.5, ajuste de zero) até o instrumento registrar exatamente este ponto (Figura 9.6, indicação do ajuste de zero);

Obs.: girar o parafuso no sentido horário, para aumentar a corrente, e no sentido anti-horário para diminuir o valor de corrente.

**Figura 9.5** – Ajuste de zero.



**Figura 9.6** – Indicação do ajuste de zero.



e) Aplicar um estímulo correspondente ao maior valor do *range* do instrumento e esperar estabilizar;

f) Mover o ajuste de *Span* (Figura 9.7, parafuso de ajuste de *span*) até o instrumento registrar exatamente este ponto (Figura 9.8);

Obs.: girar o parafuso no sentido horário para aumentar o valor da corrente e no sentido anti-horário para diminuir o valor de corrente.

**Figura 9.7** – Parafuso de ajuste de *span*.



Figura 9.8 – indicação do ajuste de *span*.



g) Repetir os passos de *c* até *f*, conforme necessário, para alcançar uma boa precisão em ambas as extremidades;

h) Após realizar os ajustes, aplicar o sinal na ascendência e na descendência, entre 0% e 100%, em um degrau de 25%, e preencher a Tabela 9.2 (considerando que 0% e 100% são os valores nos quais você ajustou o *range* do instrumento):

Tabela 9.2 – Dados a serem inseridos.

%	PRESSÃO	CORRENTE
0		
25		
50		
75		
100		
75		
50		
25		
0		

i) Traçar a curva de histerese do instrumento.



## ATIVIDADE PRÁTICA 2: USO DO TRANSMISSOR DE PRESSÃO DIFERENCIAL PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO

Para a realização da presente aula, será desenvolvida uma atividade prática envolvendo os conceitos de medição de vazão de fluidos líquidos usando placas de orifício. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos, devendo obedecer às regras de utilização e segurança conforme regimento do laboratório. Neste caso, prevê-se um total de 30 alunos.

Carga horária	Pré-requisitos
2 horas	Conhecimentos básicos de instrumentação e eletricidade

### DEMONSTRAÇÃO DO EXPERIMENTO

- Identificar os equipamentos que serão utilizados;
- No transmissor de pressão, identificar as características físicas do sensor de vazão, verificar se o circuito hidráulico está conectado corretamente e verificar qual é a corrente que o sensor de vazão está indicando.

### REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

- Montar o experimento conforme a Figura 9.9, experimento de medição de vazão com placa de orifício;
- Com o multímetro, medir o sinal de saída do transdutor de pressão (4 a 20 mA), verificando se está em 4 mA;
- Calcular o volume dentro do recipiente 2;
- Selecionar uma posição fixa para o seu registro e iniciar a operação do cronômetro ao mesmo tempo;
- Anotar o valor da corrente apresentada no multímetro na Tabela 9.2;
- Quando o líquido terminar de passar para o recipiente 1, finalizar o cronômetro;
- Calcular o valor da vazão usando a Equação 9.2;
- Quando o recipiente 2 estiver vazio, ligar a bomba e refazer o processo para outra posição do registro 1.

Figura 9.9 – Experimento de medição de vazão com placa de orifício.

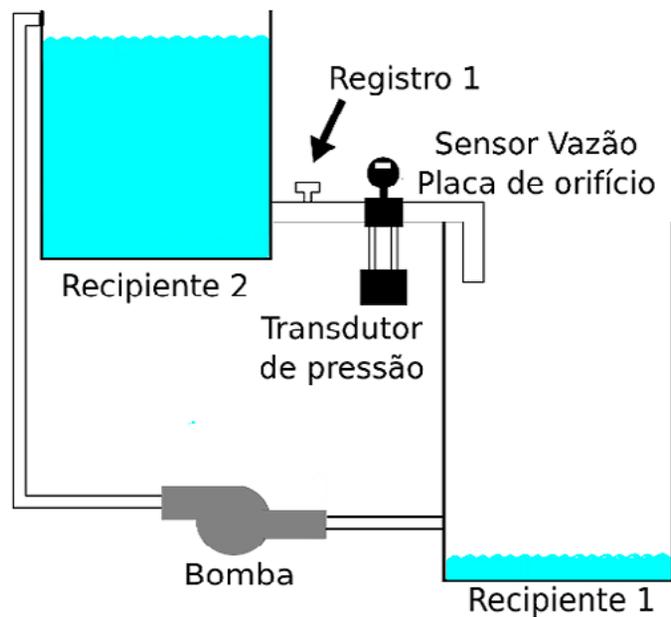


Tabela 9.3 – Análise de vazão e corrente por posição fixa do registro.

POSIÇÃO	VAZÃO	CORRENTE
1		
2		
3		
4		
5		

## 6 NORMAS E LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA

Observar a norma NBR ISO/IEC 17025. Não inverter a ligação dos fios do calibrador de pressão, embora ele tenha proteção contra tensão negativa. Com o tempo, isso pode danificar seu instrumento.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

### Ajuste de um transmissor de pressão analógico

a) Qual o objetivo de se realizar o ajuste nos instrumentos?



- b) Ao fazer o ajuste de zero, o que se está fazendo com a reta característica do instrumento?
- c) Ao fazer o ajuste de *span*, o que se está fazendo com a reta característica do instrumento?
- d) Desafio: considere um instrumento de pressão analógico com o *range* de 0 a 10 psi. Pode-se ajustar esse instrumento em qualquer faixa dentro desse *range*? Justifique sua resposta?

## Uso do transmissor de pressão diferencial para medição de vazão

- a) Explique o funcionamento do conjunto sensor de vazão e transmissor de pressão;
- b) Trace um gráfico da relação da corrente e a vazão do recipiente. Descreva qual é a equação característica. Caso seja não linear, utilize algum *software* para encontrar a equação;
- c) Esse transmissor de pressão possui extrator de raiz? Caso não tenha, monte um programa (pode ser em qualquer *software* de planilha) que realize essa extração de raiz e torne a tensão proporcional à vazão;
- d) Encontre o valor de *k* na equação para medidores deprimogênicos analisando os dados do transmissor de pressão diferencial?

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados. 1.ed. Rio de Janeiro, 2008.

MANUAL DO USUÁRIO DO CALIBRADOR PC-507 PRESYS.

KUPHALDT, T.R. **Lessons in Industrial Instrumentation**. Creative Commons Attribution 3.0 United States License, 2012.



# CAPÍTULO 10

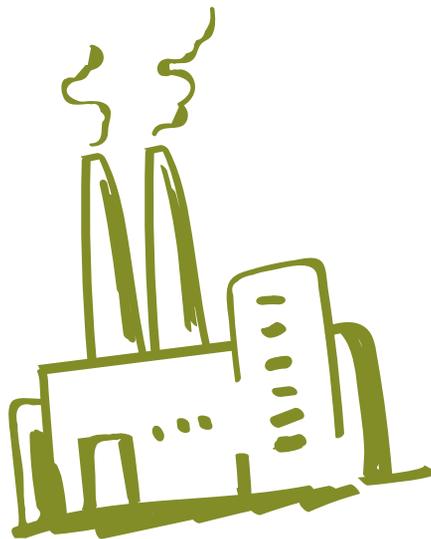
-

# MEDIÇÃO DE NÍVEL

**Autores:**

Jair Medeiros Júnior

Jessé de Pelegrin



# 1 CONCEITO DA AULA PRÁTICA

Nível é a posição da superfície de um líquido (ou a posição da interface quando dois produtos de densidades diferentes estão presentes em um sistema) em relação a um referencial. Talvez não seja a variável mais comum usada em aplicações industriais, mas certamente é a mais amplamente utilizada se considerarmos os recursos disponíveis no mercado para realizar a medição desta grandeza. A importância desta medição para a indústria vai além da própria operação do processo; também é aplicada para fins econômicos através dos cálculos de custo e inventário.



## 2 OBJETIVOS

- Entender o como é possível realizar a medição de nível através de um transmissor de pressão diferencial;
- Entender o princípio de funcionamento de uma chave de nível condutiva;
- Fortalecer o conhecimento de sensores analógicos;
- Implementar um sistema de monitoração de nível.

## 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do item	Quantidade	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	Transdutor de pressão diferencial
2	2	Recipiente com líquido
3	1	Bomba elétrica
4	1	Multímetro
5	1	Registro
Número do item	Quantidade	Descrição
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Chave de nível condutiva
2	1	Alarme da chave de nível
3	1	Fonte de alimentação CA
4	2	Tanque com líquido
5	1	Bomba para líquido
6	1	Registro



Número do item	Quantidade	Descrição
<b>Atividade prática 3</b>		
1	1	Sensor ultrassônico com indicação local, alimentação 24 V e saída analógica 0-10 V
2	1	Fonte de alimentação 24Vcc
3	1	Cabos de ligação
4	1	Multímetro digital
5	1	Pedaço de tubos ¾" ou ½"
6	1	Tanque pequeno com água

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas as bancadas a serem utilizadas estão em conformidade. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas três atividades envolvendo a medição de nível utilizando um transmissor de pressão diferencial, uma chave de nível condutiva e um sensor ultrassônico.

### Atividade prática 1 – Medição de nível com transmissor de pressão diferencial

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

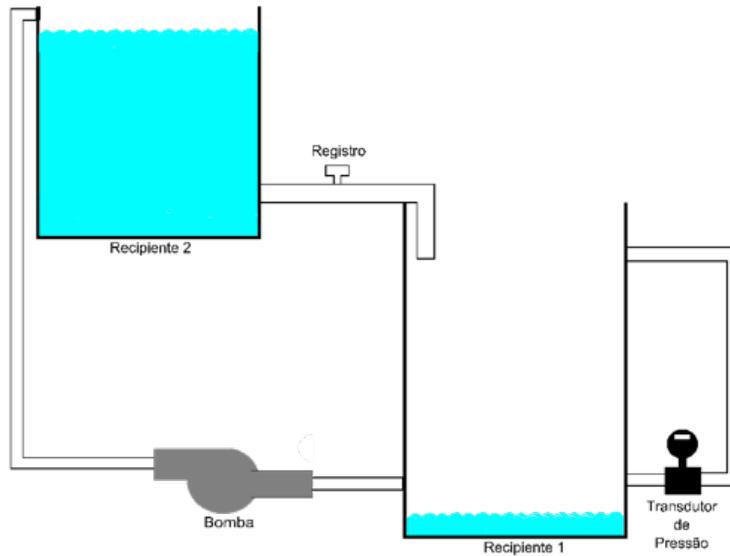
Os transdutores de pressão diferencial são utilizados na indústria para controle de nível em caldeiras, envasamento de bebidas, produtos alimentícios, produtos químicos. Nesta prática, será abordada a utilização desse tipo de transdutor.

## Croquis

O esquema da Figura 10.1 será aqui utilizado.



**Figura 10.1** – Experimento de medição de nível através de um sensor de pressão.



## Etapas

### 1. Demonstração do experimento:

- a) Identificar os equipamentos que serão utilizados;
- b) Transmissor de pressão;
- c) Identifique as características físicas do sensor de pressão;
- d) Verificar se o circuito hidráulico está conectado corretamente;
- e) Verificar qual a corrente que o sensor de pressão está indicando.

### 2. Execução.

- a) Monte o experimento conforme a Figura 10.1;
- b) Abra o registro, liberando o líquido do recipiente 2 para o recipiente 1;
- c) Enquanto o recipiente 2 for enchendo, anote os valores de corrente gerados pelo sensor de pressão para diferentes níveis.

## Atividade prática 2 – Medição de nível com chave condutiva



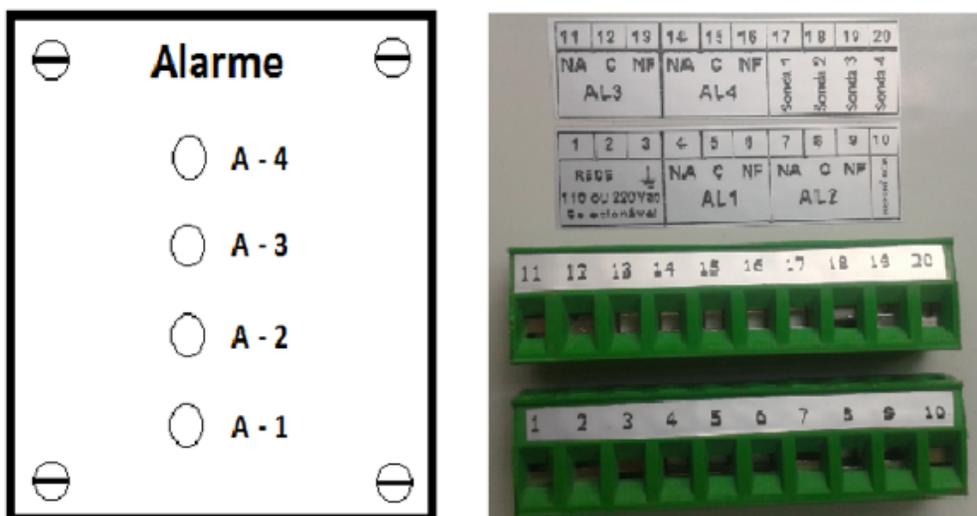
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

A Figura 10.2 apresenta a chave de nível condutiva, com o cabeçote e as hastes que medem o nível de um determinado líquido. A Figura 10.3 apresenta o módulo de controle dos alarmes e contatos auxiliares que são utilizados no acionamento de um possível atuador.

**Figura 10.2** – Chave de nível condutiva.

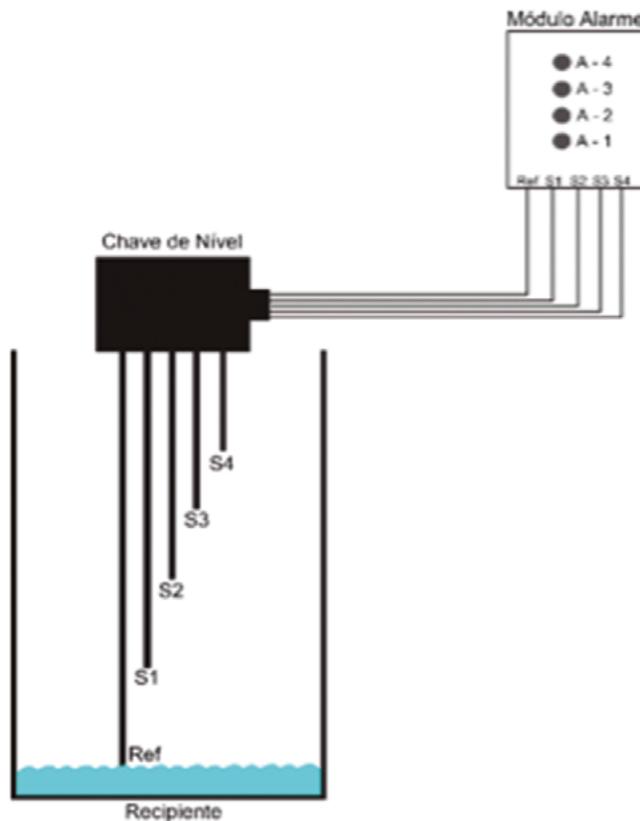


**Figura 10.3** – Indicadores dos alarmes (painel frontal) e bornes de ligação.



# Croquis

Figura 10.4 – Funcionamento da chave de nível condutiva.



## Etapas

### 1. Demonstração do experimento:

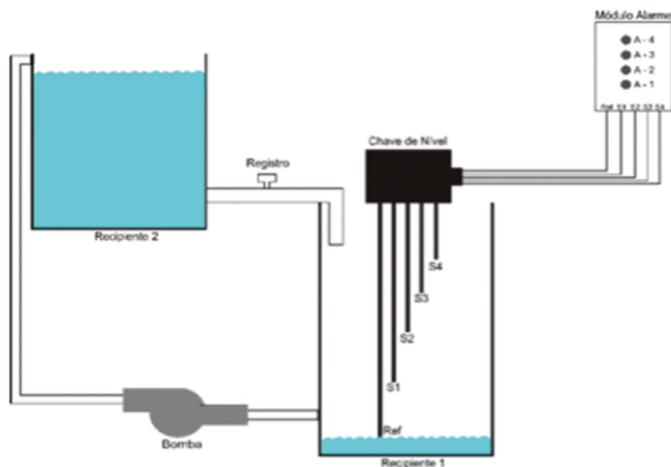
- Identificar os equipamentos que serão utilizados;
- Abra a tampa do cabeçote da chave de nível e identifique os bornes de cada haste;
- Interligue os cabos entre os bornes do cabeçote e o módulo de controle de sinal.

### 2. Execução:

- Coloque a chave de nível dentro do tanque disponível conforme a Figura 10.4;
- Insira o líquido dentro do tanque gradativamente, observando as lâmpadas de alarme associadas a cada nível do tanque;
- Utilizando a chave de nível condutiva, monte o experimento conforme a Figura 10.5;



**Figura 10.5** – Controle do nível utilizando chave de nível condutiva.



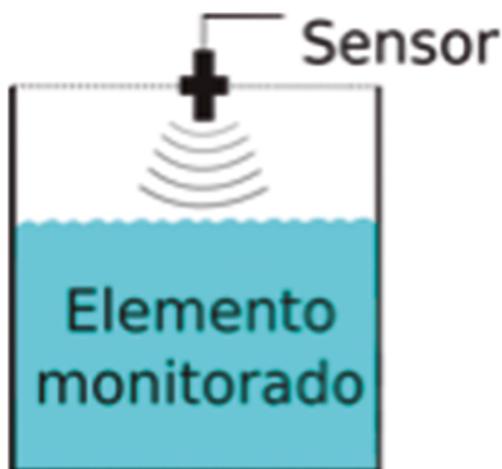
d) Abra o registro enchendo o recipiente 1. Quando o líquido atingir o sensor 4 (S4), a bomba deve ser ligada através do relé (R1) do módulo de controle, transferindo o líquido do recipiente 1 para o recipiente 2. Quando o líquido do recipiente 1 atingir o nível do sensor 1 (S1), a bomba deve ser desligada.

### Atividade Prática 3 – Medição de nível com sensor ultrassônico

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de eletricidade e eletrônica

O sensor de proximidade ultrassônico tem várias aplicações industriais, entre elas a medição de nível e altura. Tem a característica de não estar sujeito a interferências eletromagnéticas, o que pode ser importante em aplicações específicas, tais como atmosferas explosivas.

Figura 10.6 – Medição por sensor ultrassônico.



O princípio de funcionamento é o mesmo de um sonar. Como a velocidade do som é conhecida (340 m/s), baseado na emissão e recepção de ondas sonoras de alta frequência e na medição do tempo do eco produzido quando uma onda se choca com um obstáculo, podemos calcular a distância dele utilizando a Equação 10.1.

$$S = \frac{V \cdot \Delta t}{2}$$

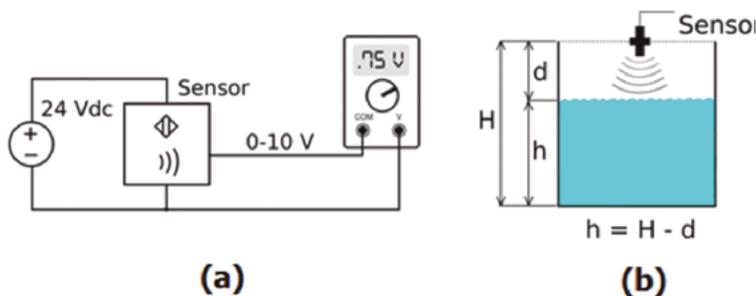
Equação 10.1

Em que: S é a distância percorrida,  $\Delta t$  é o tempo de propagação e V é a velocidade do som.

Vale lembrar que para um bom desempenho do sensor ultrassônico, seu correto posicionamento é uma condição importante para não gerar reflexões indevidas.

## Croquis

Figuras 10.7 – (a) Montagem do circuito; (b) Posicionamento do sensor.



## Etapas



- a) Inicialmente, deve-se analisar o sensor ultrassônico: verificar onde estão localizados a face sensora, o emissor e o receptor. Observar as conexões do sensor com relação à tensão de alimentação, à polaridade do cabeamento de alimentação e ao tipo de sinal de saída;
- b) Sugere-se utilizar um modelo com indicação local e saída de sinal analógico 0-10 Volts;
- c) Energização do sensor e testes de indicação de distância: Fazer a conexão da fonte 24 Vcc no sensor ultrassônico, conforme indicado na Figura 10.7 (a);
- d) Fazer testes com tipos de superfícies diferentes: plana, cilíndrica, água e grãos;
- e) Verificar o *range* de funcionamento e o limite mínimo de reflexão;
- f) Com o multímetro digital: através de cabos de ligação, fazer a conexão do multímetro e a saída analógica do sensor (Figura 10.7 (a)) e analisar o sinal de saída de tensão e sua relação com a distância medida a partir da indicação no sensor;
- g) Fazer leituras com forte deslocamento de ar.

## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

Utilizar tomadas devidamente aterradas, conforme a NBR 14136:2002, devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Transmissor de pressão diferencial

- a) Explique o funcionamento do sensor de pressão;
- b) Apresente aplicações práticas do sensor de pressão diferencial na indústria;
- c) Trace um gráfico da relação da corrente e o nível do recipiente;
- d) Determine a equação do gráfico gerado.

## Atividade 2 – Chave de nível condutiva



- a) Explique o funcionamento da chave de nível condutiva;
- b) Apresente aplicações práticas de chave de nível condutiva na indústria;
- c) Descreva características comuns que devem ser observadas nas chaves de nível condutivas. Exemplo: pressão suportada, temperatura.

## Atividade 3 – Sensores ultrassônicos

- a) Indique a localização da face sensora;
- b) Identifique as cores dos cabos: alimentação positiva, alimentação negativa e sinal;
- c) Indique com qual superfície o sensor ultrassônico tem maior compatibilidade de funcionamento.
- d) Qual o range de funcionamento do sensor e o valor mínimo de reflexão?
- e) Trace um gráfico com a relação da distância medida e o sinal de saída de tensão com no mínimo 7 pontos;
- f) Imagine a seguinte situação (Fig. 10.7 (b)): considere este sensor ultrassônico não compensado, instalado no topo de um reservatório: o sinal de tensão seria diretamente ou inversamente proporcional ao aumento do nível do tanque? Qual seria a equação de reta para a indicação de nível e o sinal de saída analógico?

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Editora LTC, 2005.
- BISHOP, R. H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2007.
- CAPELLI, A. **Automação Industrial**. São Paulo: Érica, 2008.
- MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.
- THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.

# CAPÍTULO 11

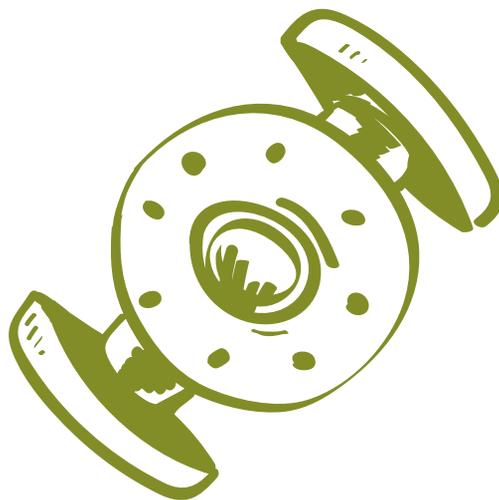
-

# TRANSDUTORES DE TORQUE E FORÇA

*Autores:*

Jessé de Pelegrin

Luciano Leonardo Sampaio Fortes





# 1 CONCEITOS

Os transdutores de torque rotativo são muito utilizados na indústria especializada, no desenvolvimento de máquinas elétricas e principalmente na verificação de motores de alta eficiência aplicados na área automobilística.

Já os transdutores de força são utilizados para medir nível, peso e até vazão de produtos na indústria. Os *strain gages* são transdutores de força típicos que sofrem deformação e, conforme sua forma de ligação, podem ter suas resistências aumentadas ou diminuídas. Elas são a base para a montagem das células de carga, que são amplamente usadas em indústrias e em projetos para medir força, pressão e inclusive a vazão mássica. O padrão é usar sinais de corrente ou tensão e utilizar uma ponte de Wheatstone. Para as células de carga, uma das etapas mais importantes para o correto funcionamento é a identificação da conexão.

# 2 OBJETIVOS

- Entender a operação de um transdutor de torque rotativo;
- Usar um transdutor de torque na medição da grandeza, no eixo de um motor de indução trifásico;
- Identificar os cabos de alimentação e de aquisição de sinal de uma célula de carga;
- Compreender as características presentes em algumas células de carga;
- Montar *strain gages* em superfícies flexíveis e verificar a variação da resistência ao se aplicar uma força de tração e contração.

# 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do item	Quant.	Descrição
1	1	Transdutor de torque
2	1	Motor de indução
3	1	Alicate amperímetro
4	1	Freio de Foucault
5	1	Osciloscópio
6	1	Fonte de alimentação
7	1	Célula de carga
8	1	Fonte de tensão variável
9	4	Cabo banana-jacaré



10	1	Multímetro
11	7	Strain gages (350 $\Omega$ )
12	1	Ferro de solda
13	4	Jumpers
14	1	Solda de estanho
15	1	Multímetro
16	1	Estrutura flexível (usada para montar o strain gages, exemplo régua)
17	4	Jumpers
18	1	Potenciômetro multivoltas (1 k $\Omega$ )
19	1	Matriz de contatos
20	1	Cabo banana-banana

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O professor/técnico deverá providenciar todos os materiais e equipamentos elencados anteriormente. Cuidados deverão ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos. Verificar se todas as bancadas estão em boas condições de uso.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DAS AULAS PRÁTICAS

Para a realização da presente aula, serão desenvolvidas quatro atividades práticas envolvendo os conceitos de aquisição e transmissão de sensores de torque e força analógicos. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos, devendo obedecer às regras de utilização e segurança conforme regimento do laboratório. Neste caso, prevê-se um total de 30 alunos.

### Atividade prática 1 – Transdutor de torque

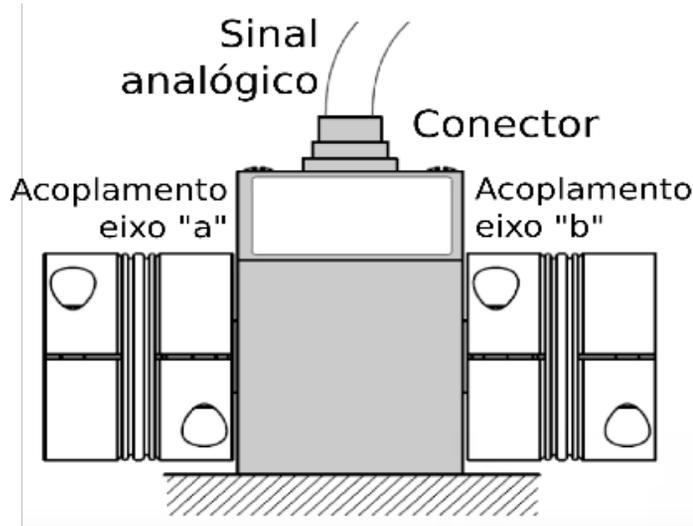
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de rotação, instrumentação e máquinas elétricas

## Croquis

A atividade prática proposta utiliza os esquemáticos da Figura 11.1, representação do transdutor de torque, e da Figura 11.2, experimento para analisar o funcionamento do transdutor de torque, representando o transdutor de torque e a análise do seu funcionamento.



**Figura 11.1** – Representação do transdutor de torque.



**Figura 11.2** – Experimento para analisar o funcionamento do transdutor de torque.



## Etapas

1. Demonstração do experimento:
  - a) Identificar os equipamentos que serão utilizados;
  - b) Alimentar cada equipamento de acordo com suas características de funcionamento;



c) Verificar se o eixo do conjunto está rodando livremente.

2. Dados do transdutor de torque:

a) Preencher a Tabela 11.1 com os dados do transdutor de torque;

**Tabela 11.1** – Dados do fabricante do transdutor de torque.

Características técnicas	Valores especificados
Capacidade nominal	
Sobrecarga admissível	
Velocidade admissível	
Tensão de alimentação	

b) Ligar o cabo que gera o sinal de torque ao osciloscópio.

3. Acionamento do experimento:

a) Ligar o motor de indução sem carga no eixo e analisar a curva de torque gerada no osciloscópio.

b) Aplicar a carga no eixo do motor de indução e preencher a Tabela 11.2:

**(Atenção: não ultrapasse a carga nominal do motor. Atente-se à corrente nominal).**

**Tabela 11.2** – Análise do torque em função da carga aplicada.

Carga aplicada	Valor de tensão (V)	Valor do torque (Nm)
0%		
25%		
50%		
75%		
100%		

## Atividade prática 2 – Instalação de célula de carga

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimento básico sobre ponte de Wheatstone e instrumentação

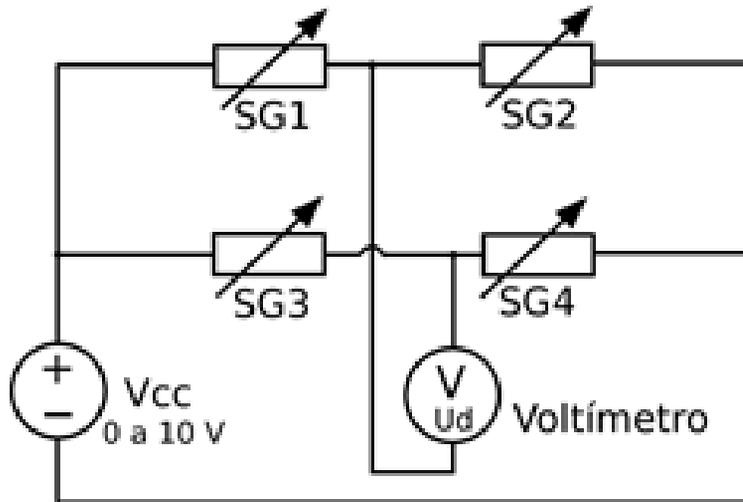
Uma das aplicações comuns de célula de carga é a identificação de uma certa quantidade de massa dentro de um recipiente. Um exemplo é a produção de caixa de bombom, onde as caixas apresentam uma quantidade pré-fixada em gramas. Caso esse valor esteja acima ou abaixo do especificado no padrão, ela é descartada para avaliação, onde será adicionado ou retirado bombom.

## Croquis

A atividade prática proposta utiliza o esquemático da Figura 11.3, esquema de ligação de uma célula de carga, para a ligação da célula de carga.



**Figura 11.3** – Esquema de ligação de uma célula de carga.



## Etapas.

### 1. Análise dos dados da célula de carga:

a) Verifique os dados que sua célula de carga apresenta. Como pode ser observado por exemplo na Figura 11.4, isso é importante para saber qual a carga máxima suportada e qual a tensão máxima de alimentação que pode ser aplicada sem que a mesma seja danificada;

**Figura 11.4** – Célula de carga com carga nominal de 100 kgf e alimentação de 10 Vcc.



b) Insira os dados na Tabela 11.3. Procure no *site* do fabricante, caso seja necessário:

**Tabela 11.3** – Dados específicos da célula de carga em análise.



Características técnicas	Valores especificados
Capacidade nominal	
Sobrecarga admissível	
Sobrecarga de ruptura	
Tensão de excitação	

c) As células de carga apresentam 4 fios de saída, sendo um par para alimentação da ponte e outro par para ligação no instrumento que irá analisar a variação da tensão com a força aplicada. Para identificar os cabos, ajuste o multímetro para medir resistência. Normalmente, as resistências dentro da célula de carga são em torno de 350  $\Omega$ . Logo, ajuste para medir uma faixa de 1 k $\Omega$  ou próximo;

d) Utilizando os cabos banana-jacaré, conecte um par de fios aleatórios ao multímetro e meça a resistência;

e) Realize todas as combinações possíveis e complete os valores na Tabela 11.4;

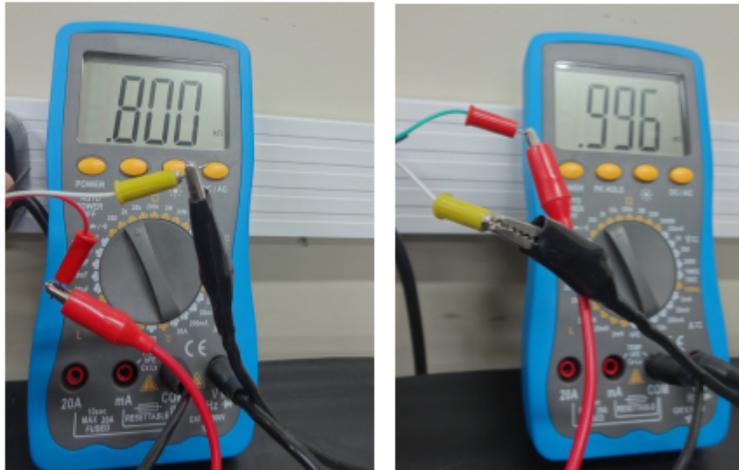
**Tabela 11.4** – Valores das resistências das combinações de resistência da célula de carga.

Combinação	Resistência ( $\Omega$ )
Cabo 1 e 2	
Cabo 1 e 3	
Cabo 1 e 4	
Cabo 2 e 3	
Cabo 2 e 4	
Cabo 3 e 4	

f) Observe que, na Tabela 11.4, existem 4 valores de resistência próximos e 2 valores acima desses outros 4. Os dois pares que possuem o maior valor de resistência são os utilizados para realizar a alimentação da célula de carga. As combinações de cabos que possuem os maiores valores de resistência são os que têm a finalidade de alimentação e de captação da tensão variável com relação à força.

Obs.: Não importa qual par será utilizado para alimentação e qual será usado para adquirir o sinal de tensão que varia com a força.

Figura 11.5 – Comparação entre a resistência medida entre dois cabos de uma célula de carga.



## 2. Identificar a polaridade da ligação da célula de carga:

- a) Ajuste a tensão da fonte para um valor dentro do funcionamento da sua célula de carga (tensão de excitação da Tabela 11.3);
- b) Usando os cabos banana-jacaré, selecione um dos pares para alimentar a sua célula de carga (dados da Tabela 11.4). Pode-se escolher aleatoriamente qual será o positivo e o negativo. Procure seguir o padrão (vermelho, positivo; preto, negativo), caso tenha a opção;

Figura 11.6 – Alimentando a célula de carga com uma tensão próxima a 10 Volts (definida após verificar os dados da célula de carga em análise).



- c) Ajuste o multímetro para medir a tensão (voltímetro). Utilize uma escala pequena (200 mV já deve ser o suficiente);



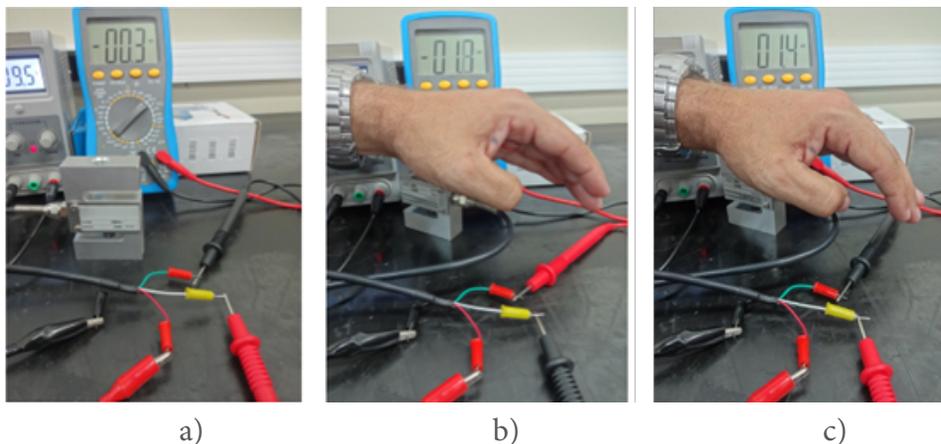
- d) Conecte as entradas do multímetro ao outro par disponível da célula de carga usando cabos banana-jacaré ou os próprios cabos do multímetro;
- e) Aplique uma força de compressão sobre a célula de carga;
- f) Complete a Tabela 11.5:

**Tabela 11.5** – Análise da tensão de saída com a força aplicada.

Célula de carga	Sem força aplicada	Com força aplicada
Tensão no multímetro (mV)		

- g) Caso o valor de tensão tenha se reduzido ao aplicar a força, como mostrado na Figura 11.7, isso significa que sua polaridade está invertida. Nesse caso, pode-se inverter os cabos de alimentação da fonte ou a polaridade dos cabos que estão conectados ao multímetro (Figura 11.7).

**Figuras 11.7** – a) Célula de carga conectada sem força aplicada, b) Aplicando uma força, c) Aplicando força (invertendo a polaridade do multímetro).



### Atividade prática 3 – Instalação dos *strain gages*

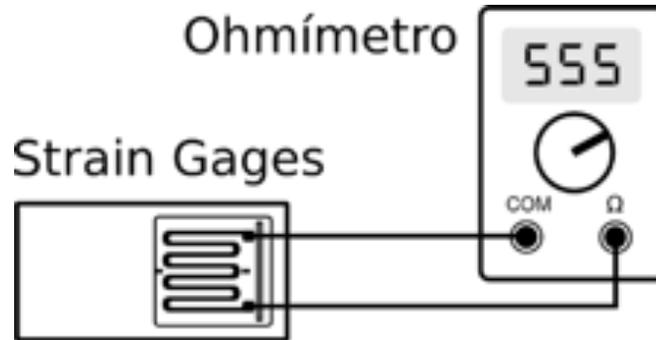
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimento básico sobre segunda lei de Ohm e instrumentação

Os *strain gages* são a base para a criação de balanças industriais/comerciais. Eles fornecem uma variação de resistência com a aplicação de uma força. Se a área em que a força estiver sendo aplicada for conhecida, é possível usá-lo para medir pressão.

## Croquis

O esquema da Figura 11.8, esquema de ligação de um *strain gage*, será aqui utilizado:

**Figura 11.8** – Esquema de ligação de um *strain gage*.



## Etapas

### 1. Preparação da superfície para a instalação dos *strain gages*:

- Caso a superfície de instalação esteja irregular, deve-se lixá-la ou nivelá-la de alguma forma, pois as dobras e irregularidades podem causar erro na variação do seu sensor;
- Limpe a superfície onde será instalado o *strain gage*. Qualquer gordura ou corpo estranho pode ocasionar erro na instalação;
- Demarque onde será instalado (para verificar onde ocorre maior deformação da superfície, recomenda-se aplicar uma força sobre ela antes de marcá-la). Cuidado para não ocasionar uma deformação elevada no *strain gage*, para não fazer com que ele sofra deformação plástica;
- Cole os *strain gages* de acordo com a Figura 11.9. Para colar os *strain gages*, podem ser utilizados adesivos como nitrocelulose, cianacrilato, cerâmicos e fenólicos, mas o recomendado é usar o que é proposto pelo fabricante;

**Figura 11.9** – Posicionamento dos *strain gages*.





- e) Recomenda-se raspar com uma lixa o contato onde o cabo será soldado;
- f) Recomenda-se colocar um pedaço de fita isolante prendendo os fios. Dessa forma, evita-se romper a solda caso ocorra algum puxamento. Cuidado nessa etapa para não pressionar o cabo onde o *strain gage* está soldado. Caso contrário, pode-se romper a solda e perder o *strain gage*;
- g) Ao conectar o ohmímetro, observe a resistência inicial (normalmente informada pelo fabricante);
- h) Aplique um esforço sobre o suporte e observe o que ocorre com as resistências. Anote os valores na Tabela 11.6.

**Tabela 11.6** – Valores de resistência dos *strain gages* ao se aplicar uma força sobre uma superfície.

Força	<i>Strain gage</i> 1 ( $\Omega$ )	<i>Strain gage</i> 2 ( $\Omega$ )
Nula		
Aplicada		

## 5.4 Atividade prática 4 – Análise dos *strain gages* na Ponte de Wheatstone

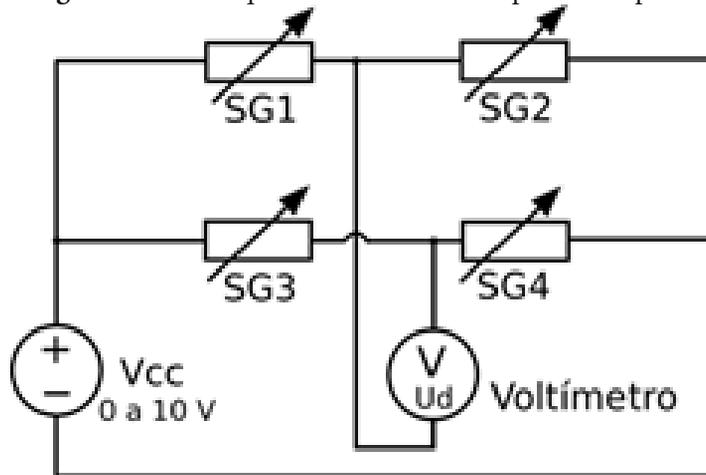
<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimento básico sobre Ponte de Wheatstone e Instrumentação

A variação da força sobre o *strain gage* é difícil de ser analisada observando apenas a variação de sua resistência. A melhor forma de se observar essa variação é instalando em configuração de ponte. Porém, devemos realizar essa montagem de forma a facilitar a elaboração de códigos-fontes ou a montagem de um circuito eletrônico amplificador. Uma aplicação comum é para medir o peso de caminhões em postos policiais, onde o *strain gage* fica submerso, acoplado a uma estrutura em um caminho alternado.

### Croquis

Esta prática consiste na análise da ponte de wheatstone, quando alteramos os *strain gages* por resistências na Figura 11.10, esquema elétrico de uma ponte completa:

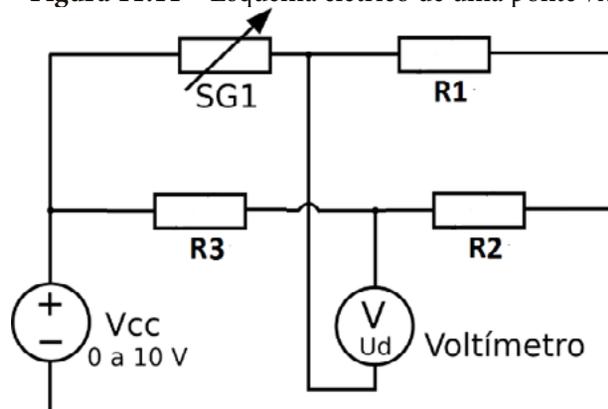
Figura 11.10 – Esquema elétrico de uma ponte completa.



## Etapas

### 1. Montagem da ponte $\frac{1}{4}$ com *strain gages*:

- Ajuste a fonte de tensão para fornecer 5 Volts;
- Usando o SG1, instalado como no roteiro 13.5.3 (“Instalação dos *strain gages*”), monte o circuito apresentado na Figura 11.11;
- Verifique se o voltímetro mostra 0 mV sem nenhuma aplicação de força no *strain gage*. Caso a tensão seja diferente de 0 mV, insira um potenciômetro de 1 k $\Omega$  (ou qualquer outro valor que trabalhe perto da faixa de 350  $\Omega$ ) no lugar de uma das resistências e ajuste o seu valor até que o voltímetro mostre 0 mV, equilibrando a ponte;
- Aplique 4 forças conhecidas sobre a superfície flexível do *strain gage* e complete a Tabela 11.7:

Figura 11.11 – Esquema elétrico de uma ponte  $\frac{1}{4}$ .

**Tabela 11.7** – Tabela mV x N para ponte  $\frac{1}{4}$ .



Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

e) Substitua a posição do SG1 pelo R1 e repita os passos com as mesmas forças aplicadas. Caso seja necessário, equilibre novamente a ponte e preencha a Tabela 11.8:

**Tabela 11.8** – Tabela mV x N para ponte  $\frac{1}{4}$ .

Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

f) Substitua a posição do SG1 pelo R2 e repita os passos com as mesmas forças aplicadas. Caso seja necessário, equilibre novamente a ponte e preencha a Tabela 11.9:

**Tabela 11.9** – Tabela mV x N para ponte  $\frac{1}{4}$ .

Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

g) Substitua a posição do SG1 pelo R3 e repita os passos com as mesmas forças aplicadas. Caso seja necessário, equilibre novamente a ponte e preencha a Tabela 11.10:

**Tabela 11.10** – Tabela mV x N para ponte  $\frac{1}{4}$ .

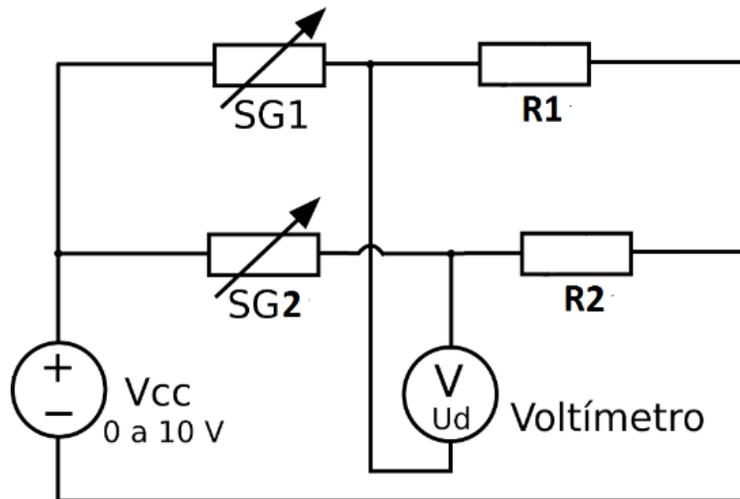
Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

2. Montagem da configuração 1/2 de ponte com *strain gages*:

- a) Ajuste a fonte de tensão para fornecer 5 Volts;
- b) Usando o SG1 e o SG2, instalados como no roteiro 13.5.3 (“Instalação dos *strain gages*”), monte o circuito apresentado na Figura 11.12;
- c) Verifique se o voltímetro mostra 0 mV sem nenhuma aplicação de força no *strain gage*. Caso a tensão seja diferente de 0 mV, insira um potenciômetro no lugar de uma das resistências e ajuste o seu valor até que o voltímetro mostre 0 mV, equilibrando a ponte;
- d) Aplique 4 forças conhecidas sobre a superfície flexível do *strain gage* e complete a Tabela 11.11:



**Figura 11.12** – Posicionamento dos *strains gages* em uma configuração ½ ponte adjacente.



**Tabela 11.11** – Tabela mV x N para ½ ponte adjacente.

Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

- e) Considerando a Figura 11.12, substitua a posição do SG1 pelo SG2 e repita os passos com as mesmas forças aplicadas. Equilibre novamente a ponte e preencha a Tabela 11.12:

**Tabela 11.12** – Tabela mV x N para ½ ponte adjacente.



Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

f) Considerando a Figura 11.12, substitua a posição do SG1 pelo R1 e o SG2 pelo R2 e repita os passos com as mesmas forças aplicadas. Caso seja necessário, equilibre novamente a ponte e preencha a Tabela 11.13:

**Tabela 11.13** – Tabela mV x N para ½ ponte adjacente.

Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

g) Considerando a Figura 11.12, substitua a posição do SG1 pelo R2 e o SG2 pelo R1 e repita os passos com as mesmas forças aplicadas. Caso seja necessário, equilibre novamente a ponte e preencha a Tabela 11.14:

**Tabela 11.14** – Tabela mV x N para ½ ponte adjacente.

Força aplicada (N)	Tensão de saída (mV)
0	0

## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

- Não trabalhar com líquido próximo às bancadas;
- Utilizar óculos de proteção e máscara para trabalhar com a solda;
- Analisar a tensão da fonte de tensão antes de conectar ao circuito.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.



### Atividade prática 1 – Transdutor de torque

- Explique o comportamento da curva de torque durante a partida do motor;
- Determine qual o valor do torque do motor através dos dados de placa do motor;
- Compare o resultado teórico com o resultado obtido no experimento.

### Atividade prática 2 – Instalação de célula de carga

- Durante a etapa de medidas das resistências, são observados 4 valores próximos e 2 valores acima desses 4. Por quê?
- Qual é a diferença conceitual entre a sobrecarga admissível e a sobrecarga de ruptura da Tabela 11.1?
- Na figura 11.13, observa-se que a célula de carga sem nenhuma força aplicada possui uma tensão de saída. O que representa esse valor? Como é possível remover esse valor e fazer com que se tenha um valor nulo de tensão quando não houver força aplicada?
- Aplique uma força fixa sobre a célula de carga e ajuste a tensão de saída de 0 V até o valor que você usou para realizar o roteiro. Identifique qual a característica que está sendo observada ao realizar esse ajuste.

### Atividade prática 3 – Instalação dos *strain gages*

- Ao aplicar uma força de tração sobre a superfície flexível, observa-se que uma resistência aumenta, e a outra diminui. Explique o porquê.
- Ao se aplicar um força inversa, ou seja, de baixo para cima, o que se espera que ocorra com os *strain gages*? Faça o teste e comprove.
- Em qual tipo de ponte devem ser montados os 2 *strain gages* instalados sobre a superfície flexível?
- Qual o valor da sensibilidade ( $\Omega/N$ ) para cada um dos *strain gages*? (Para responder, é necessário



colocar 2 pesos conhecidos diferentes sobre a estrutura flexível e medir a resistência em cada caso).

## Atividade prática 4 – Instalação de célula de carga

- a) Comparando os dados das tabelas de  $\frac{1}{4}$  de ponte, qual das montagens é a mais indicada, ou seja, qual apresenta maior desequilíbrio?
- b) Comparando os dados das tabelas de  $\frac{1}{2}$  ponte, qual das montagens é a mais indicada, ou seja, qual apresenta maior desequilíbrio?
- c) Caso você tenha observado uma sensibilidade negativa nas medições, informe como seria possível fazer com que ela ficasse positiva.
- d) Qual o valor da sensibilidade (mV/V) para a configuração  $\frac{1}{4}$  ponte de Wheatstone e  $\frac{1}{2}$  ponte de Wheatstone que possuem maior desequilíbrio apresentado? (Considere uma força fixa dentro da sua faixa de trabalho para analisar esse dado).
- e) Qual o valor da sensibilidade (mV/N) para a configuração  $\frac{1}{4}$  ponte de Wheatstone e  $\frac{1}{2}$  ponte de Wheatstone que possuem maior desequilíbrio apresentado? (Considere uma tensão fixa dentro da sua faixa de trabalho para analisar esse dado).
- f) Compare o valor da sensibilidade (mV/N) da configuração  $\frac{1}{4}$  de ponte e  $\frac{1}{2}$  ponte. O que pode ser observado?
- g) Sem necessitar realizar a montagem, o que ocorreria se fosse montada uma ponte completa?

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. L. L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. Editora LTC, 2005.

BISHOP, R. H. **The Mechatronics Handbook**. New York: CRC Press, 2007.

CAPELLI, A. **Automação Industrial**. São Paulo: Érica, 2008.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. Editora LTC, 2007.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais – Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2005. 222 p.



# CAPÍTULO 12

-

# AJUSTE DE UM TRANSMISSOR DE PRESSÃO HART

Autores:

Gustavo Maia de Almeida

Marco Antonio de Souza Leite Cuadros



# 1 CONCEITO

Há uma tentativa, nos últimos anos, de substituir o velho padrão de corrente 4-20 mA por um sistema de comunicação mais flexível na automação industrial. Existe um consenso cada vez maior entre fornecedores e usuários de equipamentos e sistemas industriais sobre a necessidade da busca contínua de produtos com arquiteturas próprias, independentes de fabricantes, que tenham alto desempenho, comprovados mecanismos de segurança e que sejam tecnologicamente modernos e robustos. Esses produtos precisam atender às novas exigências de controle, distribuição e armazenamento de informações, ter maior interoperabilidade entre plataformas de diferentes fabricantes e apresentar maior flexibilidade em manutenção e futuras atualizações.

Atualmente, devido ao seu grande avanço tecnológico, as redes de automação são largamente utilizadas, apresentando vantagens em relação a sistemas convencionais de cabeamento, tais como: diminuição de afação, facilidade na manutenção, flexibilidade na configuração da rede e diagnóstico do equipamento, principalmente. Além disso, por usarem protocolos de comunicação digitais padronizados, essas redes possibilitam a integração de equipamentos de vários fabricantes distintos.

## Protocolos Industriais:

No início dos anos 90, tentou-se estabelecer vários protocolos de comunicação digital no mercado de automação industrial e, de fato, vários deles estão em uso, controlando processos automáticos e distribuindo informações aos equipamentos de controle. Entretanto, devido ao fracasso do processo de normalização de um único protocolo, várias associações técnicas foram estabelecidas, propondo protocolos abertos onde vários fabricantes poderiam desenvolver produtos, oferecendo aos usuários independência na escolha.

Entende-se como protocolo de comunicação um conjunto de regras e convenções que permitem a conversação e troca de informações entre sistemas. Podemos dividir os protocolos de campo em três níveis ou categorias:

**Nível baixo:** conecta equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos desse tipo são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo, com os quais não se pretende cobrir grandes distâncias. Exemplos típicos são: ASI e INTERBUS Loop.

**Nível médio:** pode cobrir distâncias de até 500 m. Os equipamentos conectados a esta rede terão mais pontos discretos, alguns dados analógicos ou uma mistura de ambos. Alguns exemplos típicos são: Devicenet, Smart, Profibus DP e INTERBUS-S.

**Nível alto:** dados no formato de pacotes de mensagens, a rede se interliga aos equipamentos I/O mais “inteligentes” e pode cobrir distâncias maiores. Os equipamentos acoplados a esta rede desempenham funções específicas de controle, tais como *loops* de PID, controle de fluxo de informações e processos. Alguns exemplos típicos são: IEC/ISA SP50, *Fieldbus Foundation*, Profibus PA e HART.

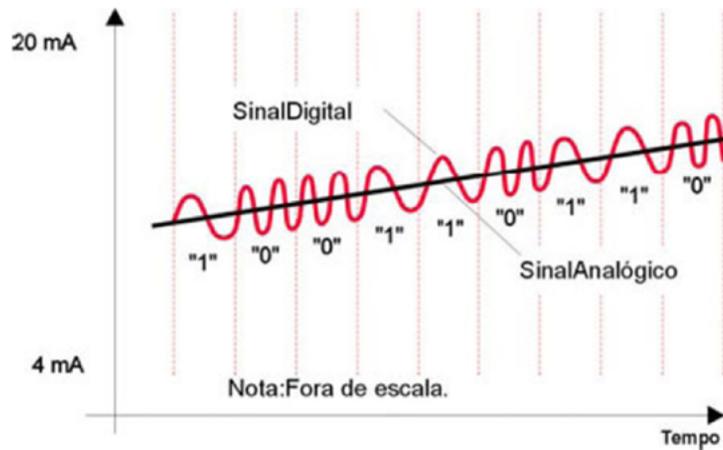


Neste capítulo, será mostrada uma experiência utilizando transmissores com protocolo de comunicação HART. Desse modo, será descrita uma breve explicação desse protocolo.

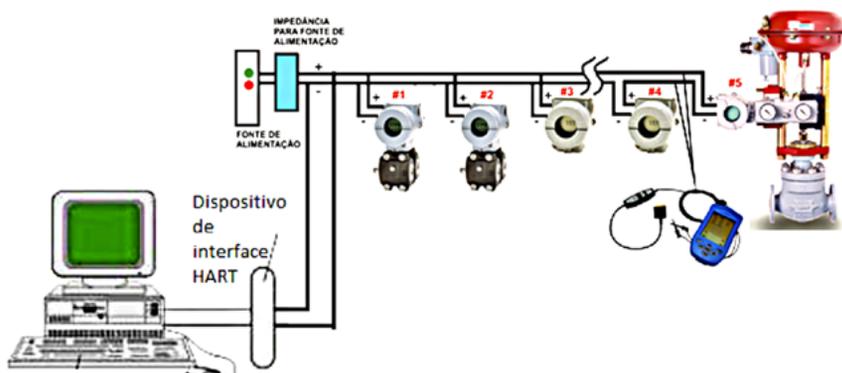
O protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transmitter*) foi introduzido no final da década de 80 com o intuito de que o instrumento possa se comunicar digitalmente com outro sobre os mesmos dois fios usados para transmitir o sinal analógico de 4-20 mA. Em outras palavras, HART é um padrão de comunicação híbrido, com uma variável (canal) de informações comunicada pelo valor analógico de um sinal de 4-20 mA e outro canal para comunicação digital em que muitas outras variáveis podem se comunicar usando pulsos de corrente para representar valores de *bits* binários 0 e 1. Esses pulsos de corrente digitais são sobrepostos ao sinal de corrente analógico DC, de tal modo que os mesmos dois fios possam transportar tanto o sinal analógico, quanto os dados digitais simultaneamente.

A lógica “1” é representada por uma frequência de 1.200 Hz e o “0” é representado por uma frequência de 2.200 Hz, como mostrado na Figura 12.1. O protocolo HART possibilita a comunicação em duas vias, o que torna possível a transmissão e recepção de informações adicionais, além da normal, que é a variável de processo. A taxa de propagação do protocolo HART é de 1.200 *bits* por segundo, sem interromper o sinal de 4-20 mA, permitindo uma aplicação do tipo “mestre” e “escravo” e duas ou mais atualizações por segundo de um único instrumento. Um exemplo de instalação HART pode ser observado na Figura 12.2.

**Figura 12.1** – Sinal digital e analógico na rede HART.



**Figura 12.2** – Exemplo de uma instalação HART.



## 2 OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivo apresentar e difundir a calibração de transmissores inteligentes usando os protocolos HART.

Por ser um assunto vasto, não se pretende esgotar o tema neste capítulo, mas sim apresentar alguns exemplos que podem servir como referência. Para um estudo aprofundado deste assunto, consultar as referências bibliográficas.



### Materiais e equipamentos

Número do item	Quant.	Descrição
1	1	Transmissor de pressão diferencial HART
2	1	Gerador de pressão
3	4	Cabos banana-jacaré
4	1	Calibrador de pressão
5	1	Comunicador HART ( <i>hand held</i> )

- Preparo do laboratório para a aula prática;
- Verificar o correto funcionamento de todos os materiais e equipamentos antes do início das atividades. O laboratório deverá estar organizado e limpo para ter um ambiente propício para um melhor aprendizado.

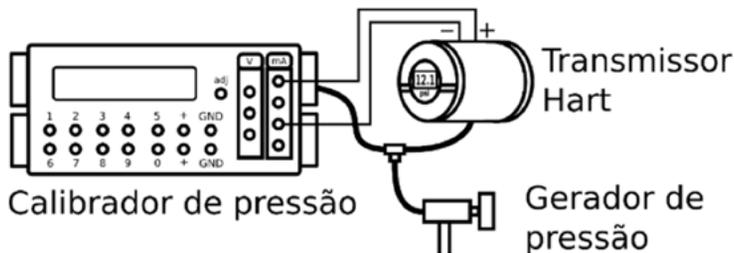
### Procedimentos para execução da aula prática

<b>Carga horária</b>	4 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de instrumentação e calibração

## Croquis



**Figura 12.3 – Circuito para calibração.**



**Figura 12.4 – Circuito de ligação.**



## Etapas

1. Faça a ligação mostrada no esquemático da Figura 12.3. e na foto mostrada na Figura 12.4 para que se possa fazer o ajuste de Transmissores de Pressão HART a dois fios e utilizar a própria fonte do PC-507 (calibrador) para alimentar o transmissor;
2. Insira o Comunicador HART de acordo com a Figura 12.5 (a) e o esquemático mostrado na Figura 12.6:
  - a. Coloque um resistor de  $250\ \Omega$  em série com o terminal negativo de acordo com a Figura 12.5 (b);
  - b. Coloque as garras do comunicador de acordo com a Figura 12.5 (c), lembrando que HART não tem polaridade.
3. Selecione o parâmetro mA (corrente) no menu de entrada do PC-507 (calibrador) e *pressure* (pressão) no *menu* de saída, conforme as Figuras 12.7;

Figuras 12.5 – (a) Circuito completo; (b) Resistor de 250 Ω; (c) Colocando o comunicador HART.

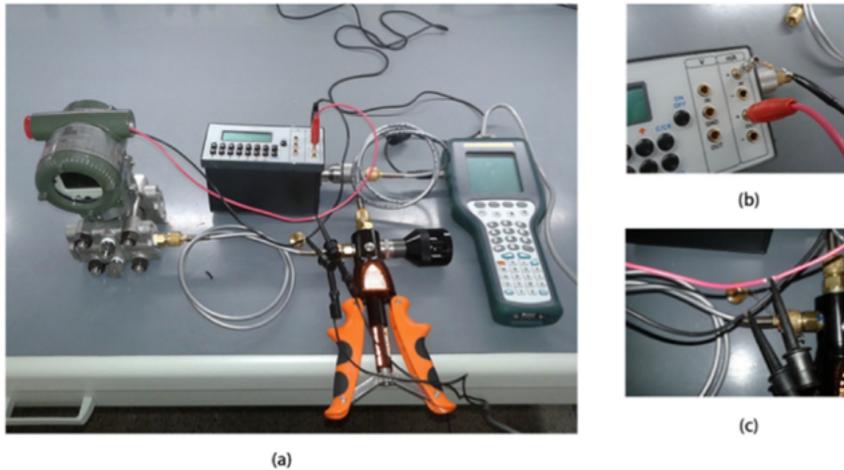
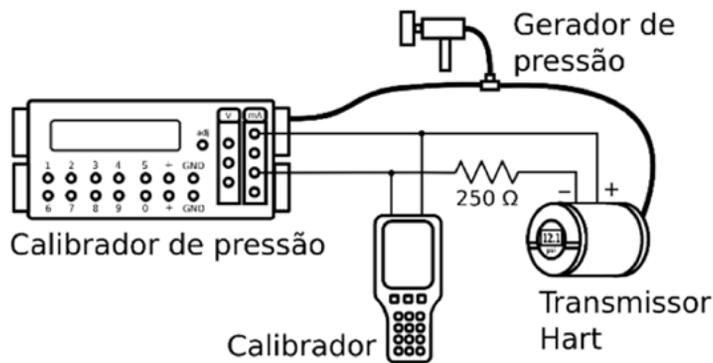
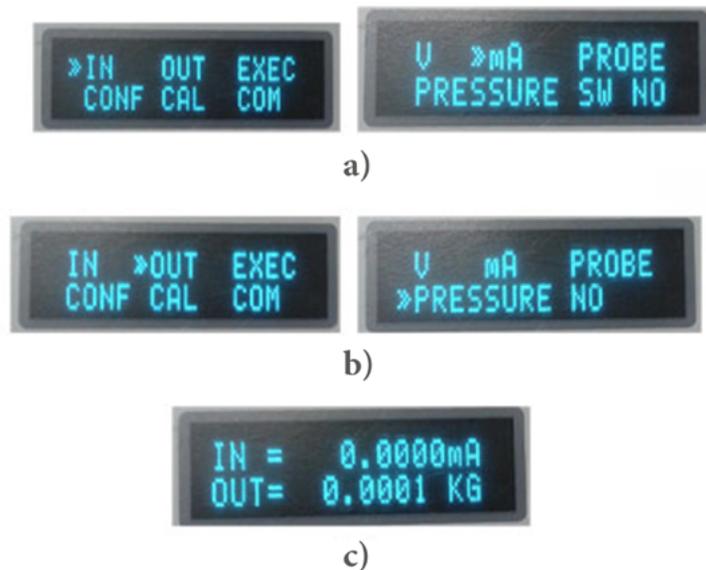


Figura 12.6 – Esquemático da ligação do comunicador HART.



Figuras 12.7 – (a) Seleção da entrada como corrente, (b) Seleção da saída como pressão, (c) Display final



4. O procedimento de calibração de um transmissor HART é conhecido como “trimming” e consiste em duas etapas:

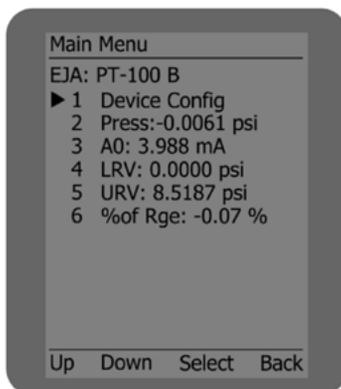
## Etapa 1: calibração do sensor



1. Aplique um estímulo referente ao valor baixo do instrumento e espere estabilizar. Siga os passos seguintes:

- a. Configure o dispositivo – Figura 12.8;
- b. Escolha calibração do sensor – Figura 12.9;
- c. Escolha *Trim de Pressão* – Figura 12.10;
- d. Escolha a opção *Baixa Pressão* – Figura 12.11;
- e. Aplique o valor de pressão referente ao menor valor do *range* do instrumento – Figura 12.12;
- f. Espere estabilizar – Figura 12.13.

**Figura 12.8** – Selecionando a opção "Device Config".



**Figura 12.9** - Selecinando a opção "Sensors".

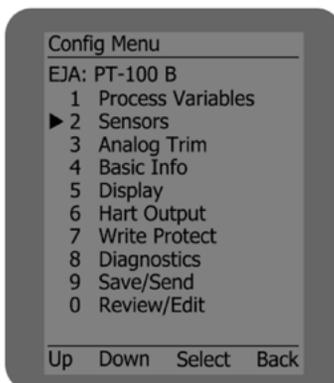


Figura 12.10 – Selecionando a opção "Pressure Trim".

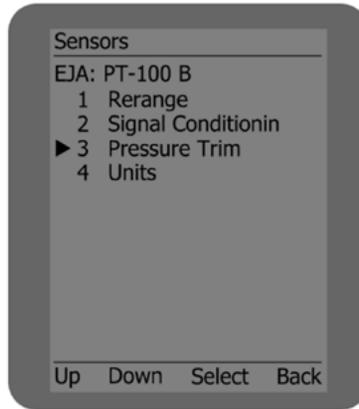


Figura 12.11 – Selecionando a opção "Lower Trim".

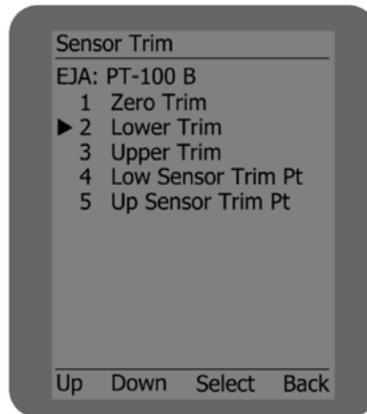
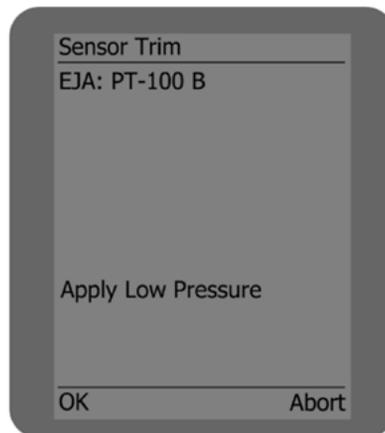
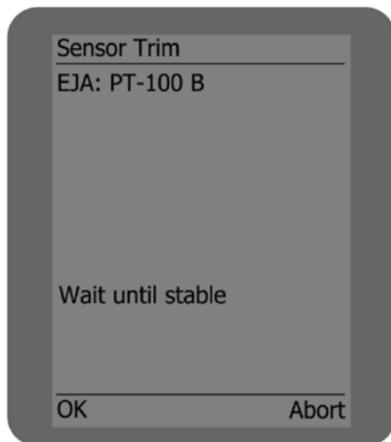


Figura 12.12 – Aplicando a pressão referente ao menor valor da escala.





**Figura 12.13** – Esperando a pressão estabilizar.



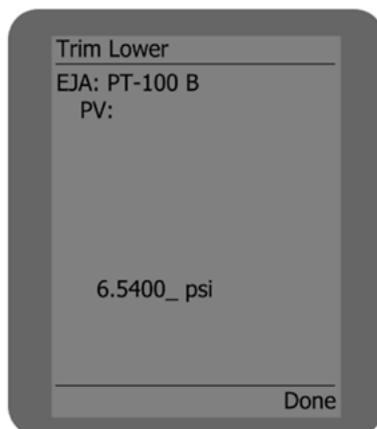
2. Execute a função "Sensor trim low". Siga os passos seguintes:

- a. Faça a leitura do valor apresentado pelo padrão – Figura 12.14;
- b. Digite o valor no comunicador HART e aperte "Done" – Figura 12.15;

**Figura 12.14** – Fazendo a leitura do valor de pressão apresentado pelo padrão.



**Figura 12.15** – Digitando o valor na tela do comunicador.



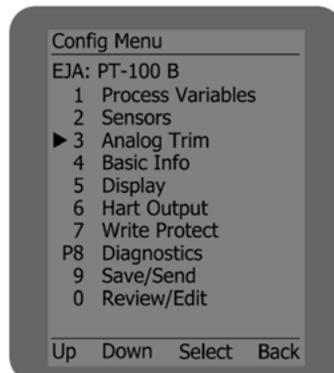


3. Aplique um estímulo referente ao valor de alta do instrumento e espere estabilizar. Obs.: Os procedimentos são os mesmos das figuras apresentadas no item 1; porém, deve-se selecionar a opção "Upper Trim";
4. Execute a função "Sensor trim high". Obs.: Os procedimentos são os mesmos que os do item 2; porém, devemos aplicar um valor de pressão maior do que o valor que colocamos em 2. Observação importante: para ter uma exatidão melhor, é aconselhado escolher os valores da pressão *low* e *high* próximo ao *range* de funcionamento do instrumento.

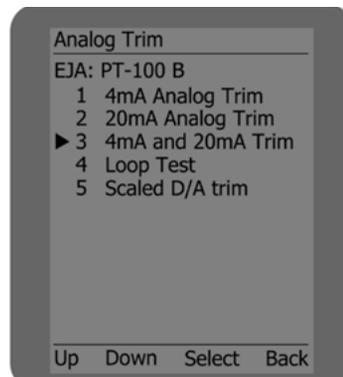
## Etapa 2: calibrar a saída *trim* do conversor DAC: consiste em 4 etapas gerais:

1. Executar a função "Output trim low". Siga os passos seguintes:
  - a. Configurar o dispositivo – Figura 12.8;
  - b. Escolha a opção "Trim Analógico" – Figura 12.16;
  - c. Selecione a opção para calibração de 4 e 20 mA – Figura 12.17;
  - d. Selecione OK para remover o transmissor do *loop* – Figura 12.18.

**Figura 12.16** – Selecionando "Analog Trim".

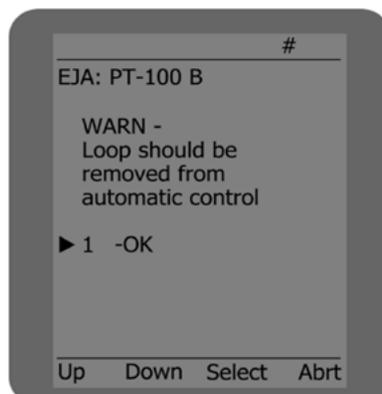


**Figura 12.17** – Selecionando a opção para calibrar o 4 mA e o 20 mA.



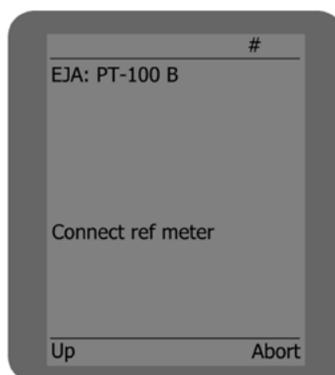


**Figura 12.18** – Removendo o transmissor do *loop*.



2. Meça o sinal de saída do calibrador registrando o valor no comunicador depois de estabilizar. Siga os seguintes passos:
  - a. Conecte o calibrador padrão – Figura 12.19;
  - b. Selecione OK para que se possa executar o 4 mA – Figura 12.20;
  - c. Faça a leitura do valor de corrente apresentado pelo calibrador padrão – Figura 12.21.

**Figura 12.19** – Colocando o padrão.



**Figura 12.20** – Setando o valor de 4 mA.

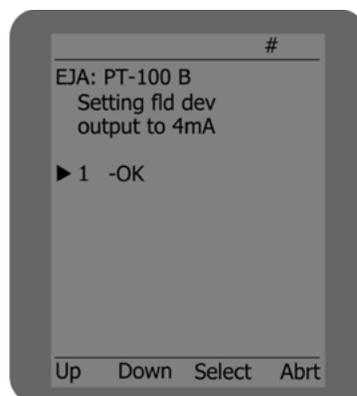


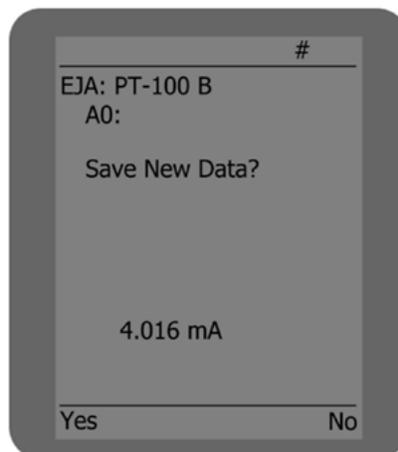
Figura 12.21 – Valor de corrente apresentado.



3. Insira o valor de corrente medida quando solicitado pelo instrumento. Siga os passos seguintes:
  - a. Digite o valor de corrente lido na Figura 12.21 e digite no comunicador e pressione "YES" para salvar o valor – Figura 12.22;
  - b. Pressione "YES" novamente para confirmar o valor – Figura 12.23.

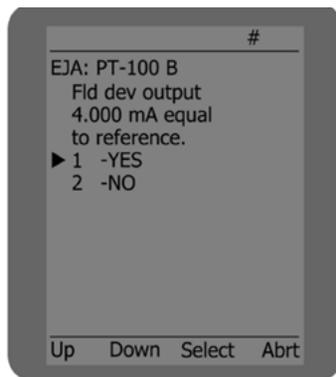
Obs.: Caso o valor apresentado não for satisfatório, digite "NO", e ele irá apresentar uma nova medição de corrente.

Figura 12.22 – Digitando o valor de corrente.





**Figura 12.23** – Confirmando o valor.



4. Executar a função "Output Trim high" e inserir o valor de corrente quando solicitado pelo instrumento.

Obs.: Os procedimentos para este item são idênticos aos do item 1 deste tópico; porém, nesta parte será gerado o sinal de 20 mA.

## 5 NORMAS E LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA

- NBR ISSO/IEC 17025;
- Não inverter a ligação dos fios do calibrador de pressão. Embora ele tenha proteção contra tensão negativa, com o tempo isso pode danificar seu instrumento.

## 6 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Após realizar os ajustes, aplique o sinal na ascendência e na descendência, entre 0% e 100%, em um degrau de 25%, e preencha a Tabela 12.1 (considerando que 0 e 100% são os valores nos quais você ajustou o *range* do instrumento):

**Tabela 12.1** – Dados obtidos de pressão e corrente.

%	Pressão	Corrente
0		
25		
50		
75		
100		
75		
50		
25		
0		

- a. Trace a curva de histerese do instrumento;
- b. Compare as funcionalidades dos instrumentos com protocolo HART com os instrumentos analógicos;
- c. Procure na internet *datasheets* dos seguintes tipos de equipamentos:



**Tabela 12.2** – Características de instrumentos.

Componente	Fabricante	Características Técnicas
Transmissor de pressão HART		
Transmissor de temperatura HART		
Transmissor de nível HART		
Transmissor de vazão HART		
Calibrador HART		
Válvula com interface HART		

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KUPHALDT, T. R. **Lessons in Industrial Instrumentation**. Creative Commons Attribution 3.0. United States License, 2012.
- MANUAL DE INSTRUÇÕES, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – TT302. Smar, 2014.
- MANUAL DE OPERAÇÃO E INSTALAÇÃO SYSCON – Configurador de Sistema – Smar, 2008.
- MANUAL DO USUÁRIO DO COMUNICADOR HART YHC 4100. Yokogawa, 2007.
- MANUAL TÉCNICO DO BANHO TÉRMICO TIPO BLOCO SECO T-350P/T-650P. Presys.

# CAPÍTULO 13

-

# CONFIGURAÇÃO BÁSICA E AJUSTE DE UM INSTRUMENTO *FIELD BUS FOUNDATION*

Autores:

Gustavo Maia de Almeida

Marco Antônio de Souza Leite Cuadros



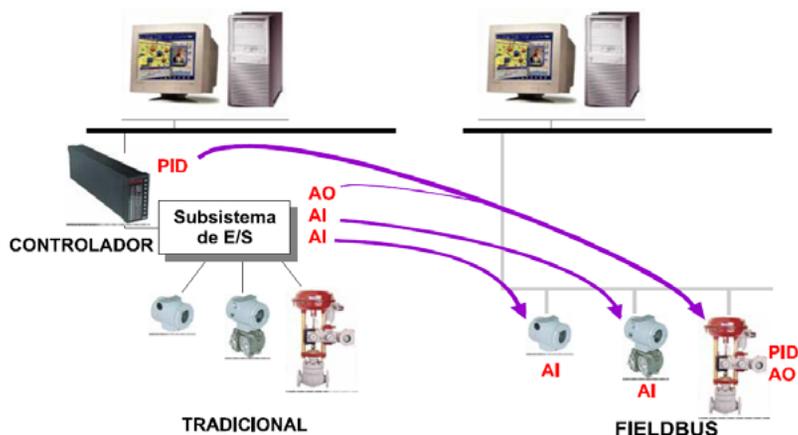


# 1 CONCEITOS

*Fieldbus Foundation* é um padrão para instrumentação digital, permitindo que instrumentos de campo não só se comuniquem uns com outros digitalmente, mas também que executem todos os algoritmos de controle contínuos (como PID, cascata etc.), tradicionalmente implementados em dispositivos de controle dedicados. Em essência, *Fieldbus Foundation* estende o conceito geral de um sistema de controle distribuído (SDCD) até os próprios dispositivos de campo. Dessa maneira, *Fieldbus Foundation* distingue-se como mais do que apenas uma outra comunicação digital para indústria, representando uma nova forma de implementar sistemas de medição e controle. Este protocolo foi proposto pela primeira vez como um conceito em 1984 e oficialmente padronizado pela *Fieldbus Foundation* (organização que supervisiona todas as normas e validação) em 1996.

Uma das características do *Fieldbus Foundation* é a redução de *hardware*, que pode ser visto na Figura 13.1, redução de *hardware*, pois usa o padrão “Blocos de Função” para implementar a estratégia de controle. Os Blocos de Função são funções de automação padronizadas. Muitas funções do sistema de controle funcionam como entrada analógica (AI), saídas analógicas (AO) e controle Proporcional/Integral/Derivativo (PID), que pode ser executado pelo dispositivo de campo através da interligação dos Blocos de Função.

Figura 13.1 – Redução de *Hardware*.



A tecnologia *Fieldbus Foundation* permite a distribuição de funções em equipamentos de campo de fabricantes diferentes de maneira integrada. Essa flexibilidade de trabalhar com equipamento de diversos tipos de fabricantes é uma vitória para os usuários.

A distribuição de controle em dispositivos de campo que são conectados com um único par de fios pode reduzir a quantidade de I/O e a necessidade de equipamentos de controle, incluindo arquivos de cartão, gabinetes e fontes de alimentação.

# 2 OBJETIVOS

- Este capítulo tem como objetivo apresentar e difundir práticas de laboratório de calibração do transmissor inteligente usando o protocolo *Fieldbus Foundation*;



- Por ser um assunto vasto, não se pretende esgotar o tema neste capítulo, mas sim apresentar um exemplo que pode servir como referência. Para um estudo aprofundado deste assunto, consultar as referências bibliográficas.

### 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Número do item	Quant.	Descrição
1	1	<i>Kit Fieldbus Foundation</i>
2	1	<i>Software de configuração System302*</i>

### 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

Verificar o correto funcionamento de todos os materiais e equipamentos antes do início das atividades. O laboratório deverá estar organizado e limpo para ter um ambiente propício para um melhor aprendizado.

### 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

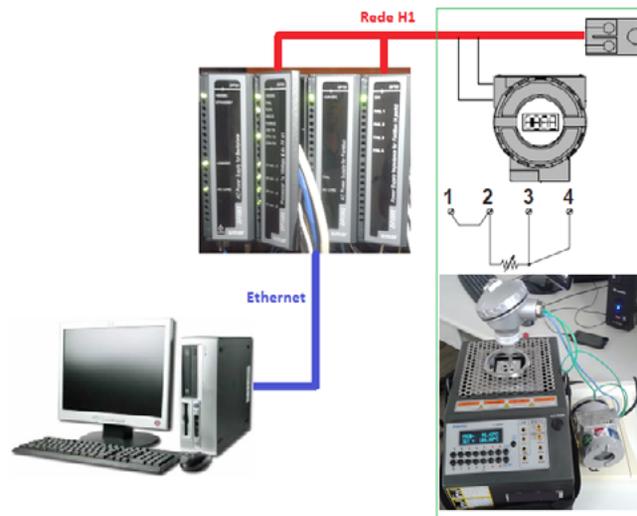
<b>Carga horária</b>	4 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de instrumentação

## Croquis

A Figura 13.2, croqui da configuração geral dos equipamentos do roteiro, apresenta a configuração geral dos equipamentos que serão utilizados na presente atividade prática.



**Figura 13.2** – Croqui da configuração geral dos equipamentos do roteiro.



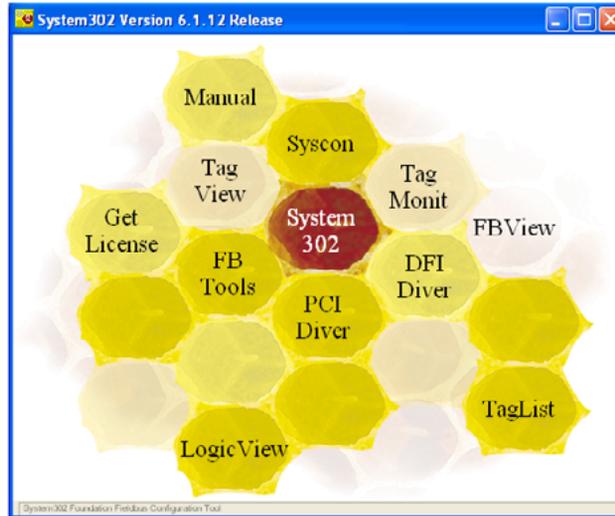
## Etapas

### Etapa I – Configuração:

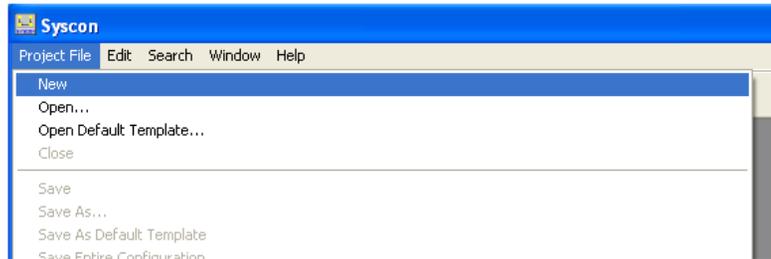
1. Inicie o programa de configuração (*System 302*<sup>®</sup>) e faça duplo clique em *Syscon* (Figura 13.3);
2. Clique em *Project File/New* (Figura 13.4);
3. Escolha *Project* (Figura 13.5);
4. Escolha um nome para o projeto (Figura 13.6);
5. Faça um novo projeto conforme ilustrado na Figura 13.7;
6. Pressione com o botão direito do *mouse* sobre *FieldBus Network* e selecione *New FieldBus* (Figura 13.8);
7. Selecione o tipo de rede H1 e seu respectivo nome, neste exemplo “Rede1” (Figura 13.9);
8. A nova rede aparecerá na estrutura do projeto (Figura 13.10);
9. O procedimento seguinte é realizar a configuração da nova rede clicando duas vezes sobre “Rede1” (Figura 13.11);



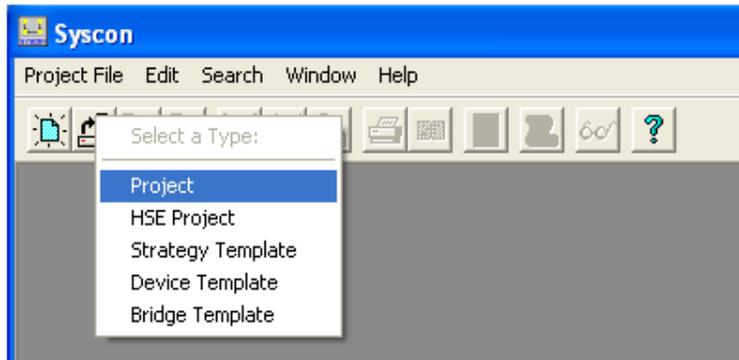
**Figura 13.3 – System 302 – Syscon.**



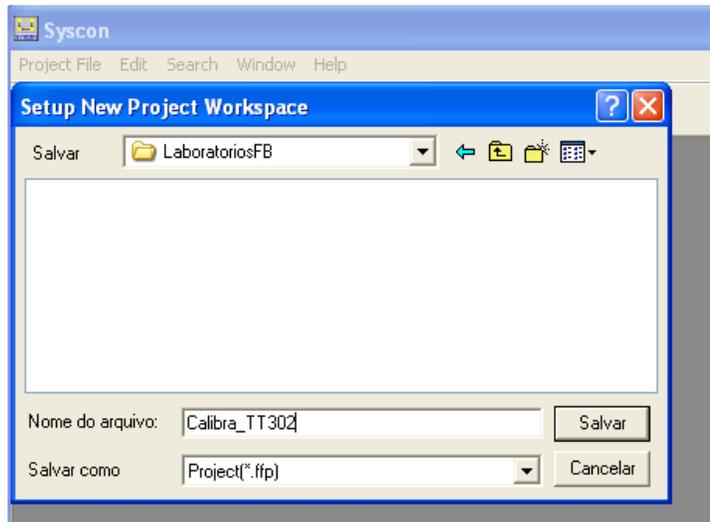
**Figura 13.4 – Criação de um novo projeto – a.**



**Figura 13.5 – Criação de um novo projeto – b.**



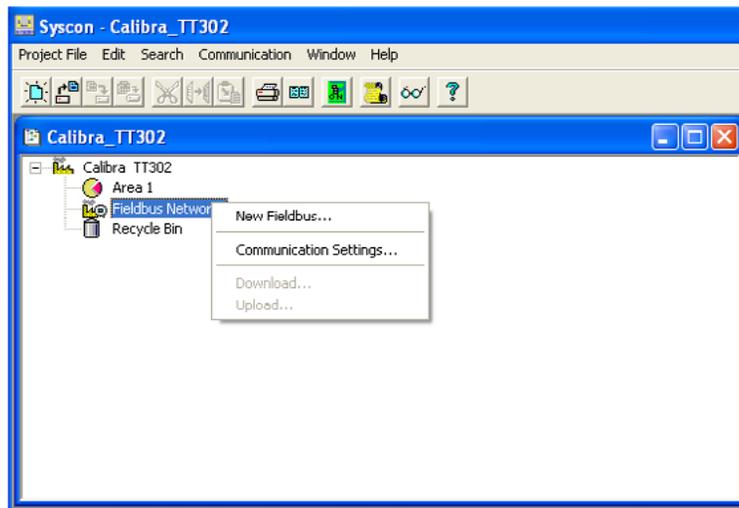
**Figura 13.6** – Escolher nome do projeto.



**Figura 13.7** – Estrutura inicial do projeto.

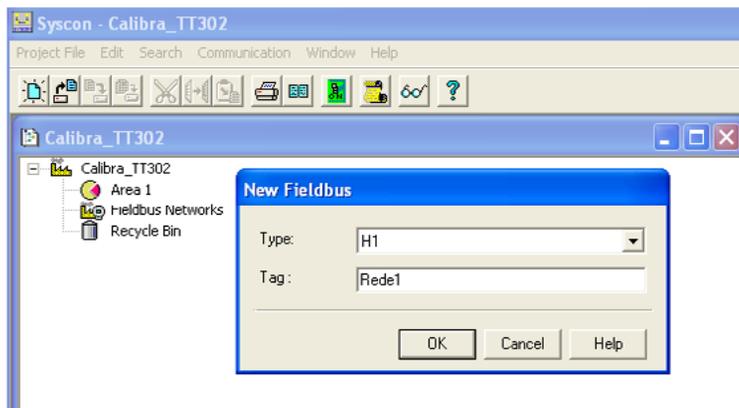


**Figura 13.8** – Nova rede *Fieldbus*.

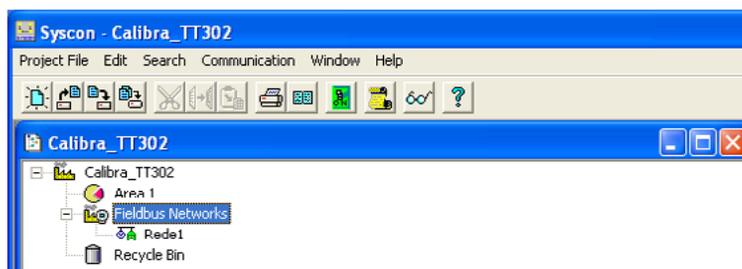




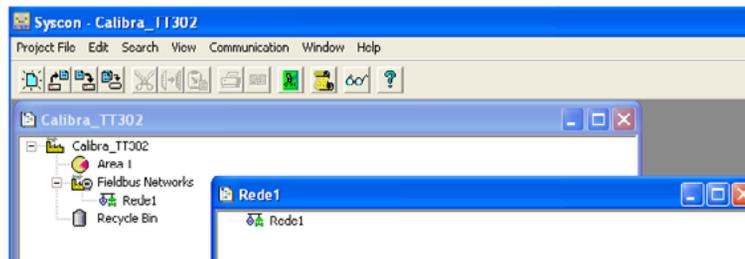
**Figura 13.9** – Seleção do tipo da nova rede *Fieldbus*.



**Figura 13.10** – Estrutura do projeto com a nova rede criada.



**Figura 13.11** – Abrindo a rede criada para realizar a configuração.



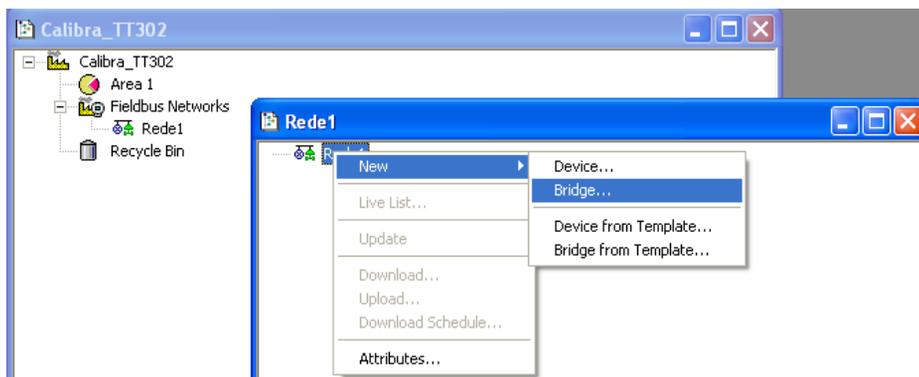
10. A rede deverá ter um *Bridge* para fazer a conexão da rede H1 com o barramento HSE, baseada em *Ethernet*, e, assim, comunicar o computador com a rede H1. Para criar o *Bridge*, aperte o botão direito do mouse e selecione *New/Bridge* (Figura 13.12);
11. De acordo com as definições, cada barramento H1 pode comportar, teoricamente, até 32 equipamentos não alimentados pelo barramento. Na prática, pode-se ter até 12 equipamentos de campo alimentados pelo próprio barramento e outros 20 equipamentos não alimentados pelo barramento, cada qual com um endereço lógico único na rede (1 *byte*). Esse limite se deve principalmente às características elétricas da fonte e consumo de corrente dos equipamentos. Em termos práticos, recomenda-se que o número total



de equipamentos não ultrapasse a 10, pois o tráfego na rede tende a se tornar muito alto e pode-se ter uma degradação de desempenho. Em áreas classificadas, recomenda-se analisar a saída da barreira de segurança intrínseca para se definir o número de equipamentos. O DF51 conta com 4 canais. Neste caso, será usado o canal 4 e o nome a ser dado a esta nova *Bridge* será *BridgeIFES*. Logo após, aperte o botão "OK" (Figura 13.13);

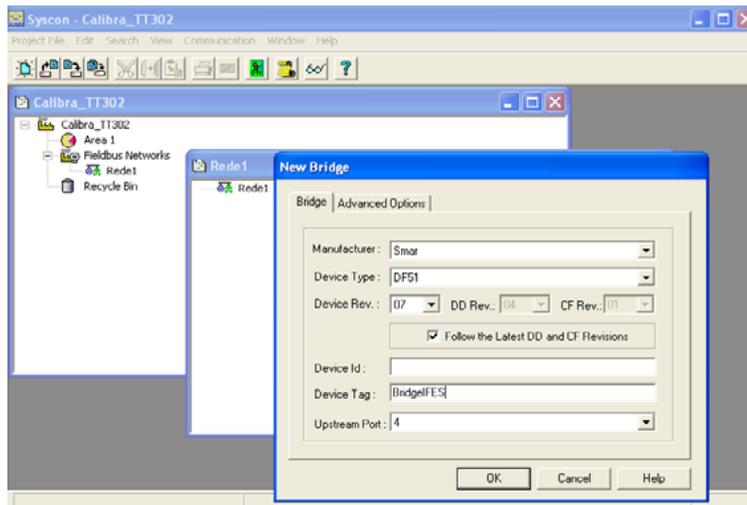
12. Aperte o botão direito do *mouse* e selecione *New/Device* (Figura 13.14);
13. Na seguinte janela, escolha o tipo de dispositivo (TT 302), *Device Rev. 3*, e o nome do dispositivo ("TT302"). Posteriormente, clique em "OK" (Figura 13.15);
14. Incremente o bloco "Analog Input", aperte com o botão direito do *mouse* sobre FB\_VFD e escolha "New Block." (Figura 13.16);
15. Escolha o tipo de bloco "Analog Input", insira um nome da sua escolha ou deixe em branco, e o sistema automaticamente escolherá um nome para o *tag* relacionado ao nome do *device*. Finalmente, aperte "OK" (Figura 13.17);
16. Agora o dispositivo precisa ser configurado. Aperte com o botão direito do *mouse* sobre o bloco transdutor "TT302-TRD TT-1" e escolha "Off Line Characterization." (Figura 13.18 – Abrir janela de configuração *off-line* do bloco transdutor.);

**Figura 13.12** – Criando um novo *Bridge*

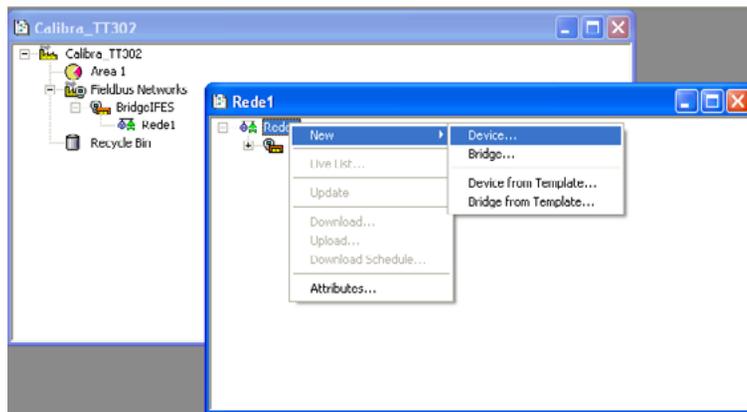




**Figura 13.13** – Definição da nova *Bridge*.



**Figura 13.14** – Criação de um novo dispositivo.



**Figura 13.15** – Criação de um novo dispositivo – definição das características.

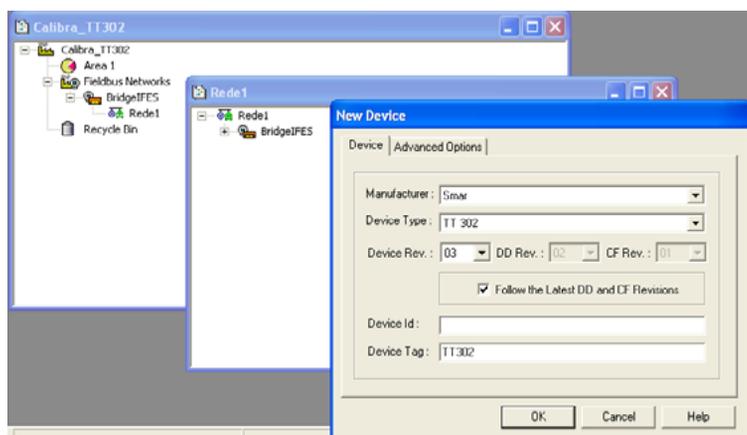


Figura 13.16 – Criação de um novo dispositivo – definição das características.

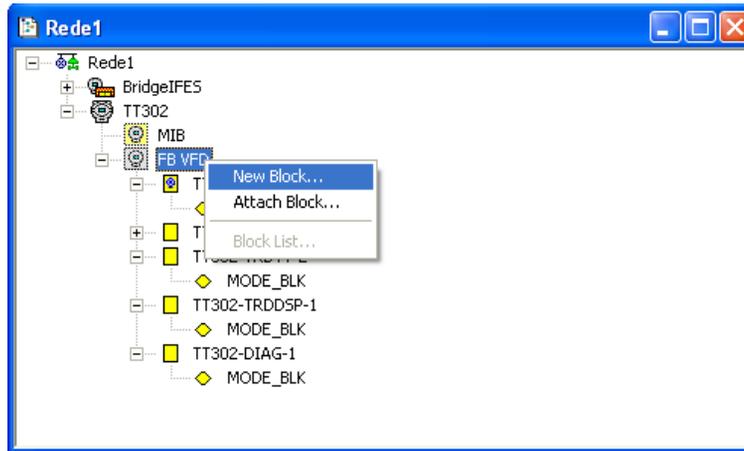


Figura 13.17 – Criação de um novo bloco – entrada analógica.

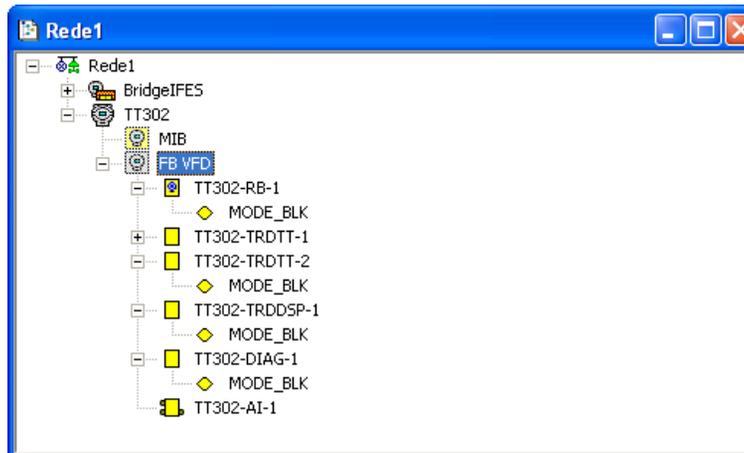
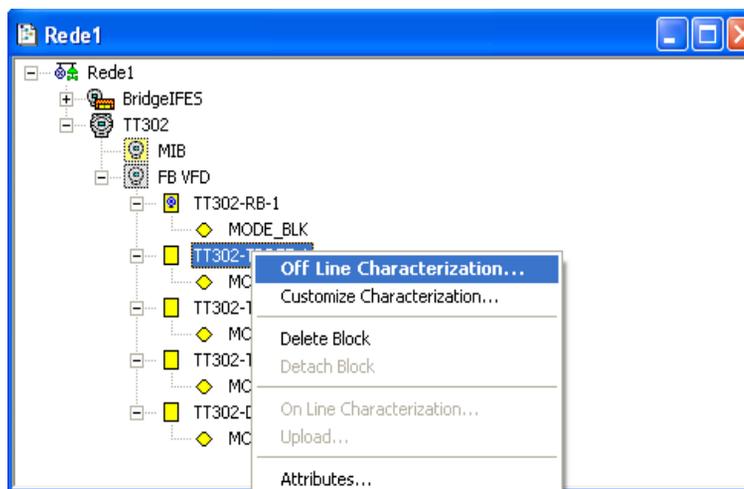


Figura 13.18 – Abrir janela de configuração *off-line* do bloco transdutor.





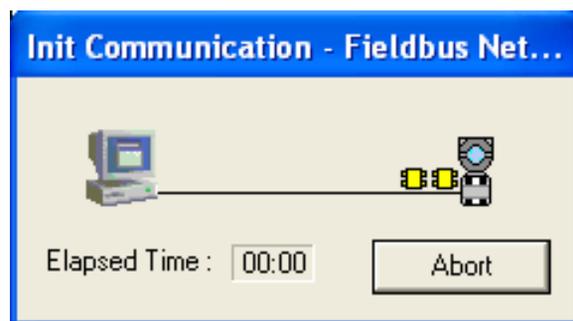
17. Na próxima janela, ajuste os parâmetros, conforme a Tabela 1;
18. Após a configuração da rede e dispositivos, realize o *download* do projeto ao *bridge* e ao dispositivo. Ative, primeiramente, o modo *online* clicando na aba mostrada na Figura 13.19;
19. Todos os dispositivos *Fieldbus* tem uma identificação chamada de *Device Id*. Após realizar as configurações de forma *off-line* e mudar para a forma *online*, aperte o botão direito do *mouse* em *BridgeIfes* e selecione *Atributes* (Figura 13.20);
20. Na opção: “Device ID”, selecione o ID respectivo ao dispositivo de interesse. Caso existam dois ou mais dispositivos do mesmo tipo, confirme o ID com a placa do dispositivo para garantir a escolha correta (Figura 13.21);
21. Após especificar o ID do *bridge*, atribua o nome do *tag* ao dispositivo clicando com o botão direito do *mouse* e selecionando a opção *Assign tag* (Figura 13.22);
22. Realize as operações de seleção de ID e atribuição da *tag* para o TT302;
23. Neste passo, serão gravadas todas as configurações nos dispositivos da rede. Aperte o botão direito do *mouse* na opção *FieldBus Network* e selecione *Download* (Figura 13.23);
24. Aperte o botão *Start*, conforme a Figura 13.24;
25. Aperte com o botão direito do *mouse* em *Calibra\_TT302* e selecione *Consolidate OPC Database*. Na seguinte janela, selecione *Add This*. Aparecerá outra janela de confirmação; confirme e feche a janela selecionando *close* (Figura 13.25).

Tabela 13.1 – Configuração de parâmetros a serem utilizados.

Dispositivo	TAG	Bloco	Parâmetro
TT302	TT302	TT302-TRDIT-1	MODE_BLK.Target = AUTO SENSOR_TYPE = PT100IEC SENSOR_CONNECTION=THREE WIRES SENSOR_TRANSDUCER_NUMBER = 1
		TT302-TRDDSP-1	MODE_BLK.Target = AUTO BLOCK_TAG_PARAM1 = TT302-AI-1 INDEX_RELATIVE_1 = 8 MNEMONIC_1 = TEMP ACCESS_1 = MONITORING ALPHA_NUM_1 = MNEMONIC DISPLAY_REFRESH = UPDATE DISPLAY
		TT302-AI-1	MODE_BLK.Target = AUTO XD_SCALE.EU_100 = 350 XD_SCALE.EU_0 = 0 XD_SCALE.UNITS_INDEX = °C OUT_SCALE.EU_100 = 350 OUT_SCALE.EU_0 = 0 OUT_SCALE.UNITS_INDEX = °C CHANNEL = 1 L_TYPE = INDIRECT

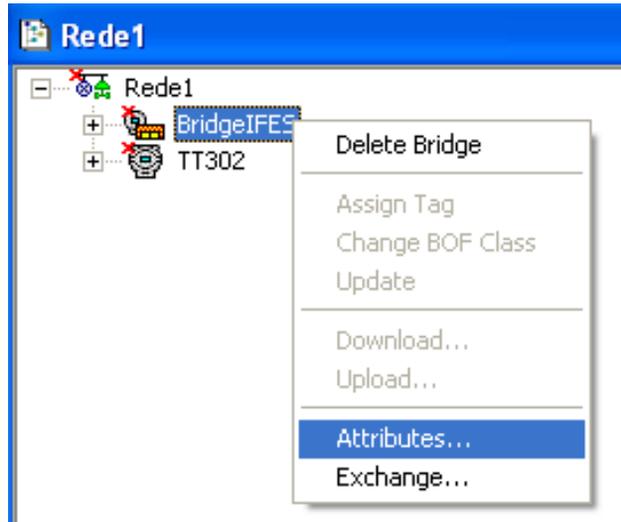


Figura 13.19 – Seleção do modo “online”.

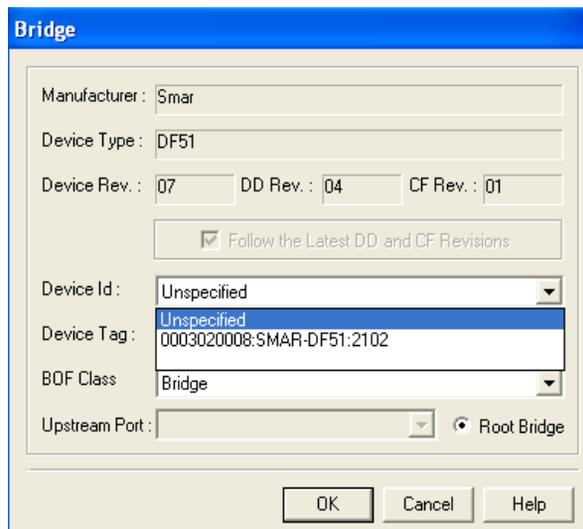




**Figura 13.20** – Selecionar *Attributes* do *BridgeIFES*.



**Figura 13.21** – Selecionar o ID *BridgeIFES*.



**Figura 13.22** – Atribuição de *tag* dos dispositivos.

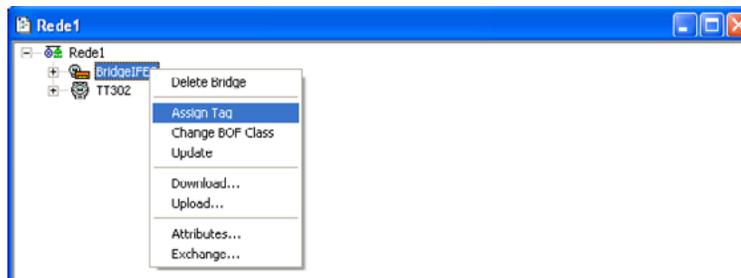


Figura 13.23– Atribuição de *tag* dos dispositivos.

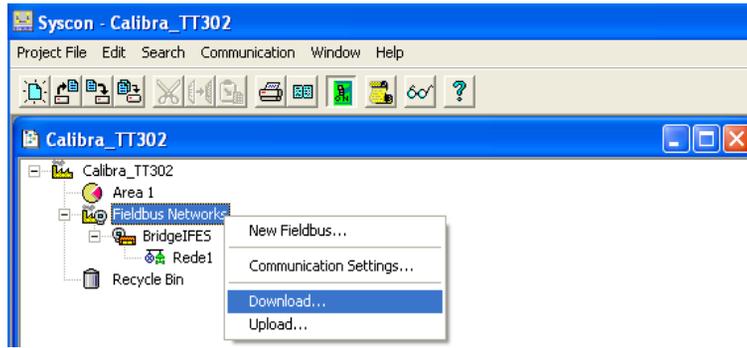


Figura 13.24 – Download do projeto.

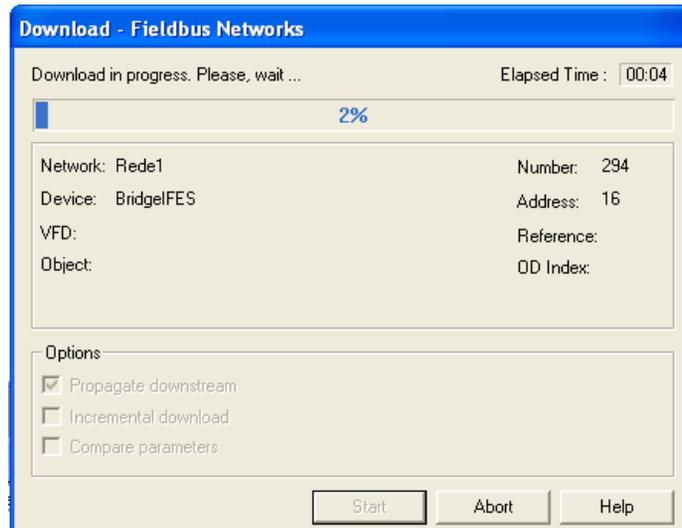
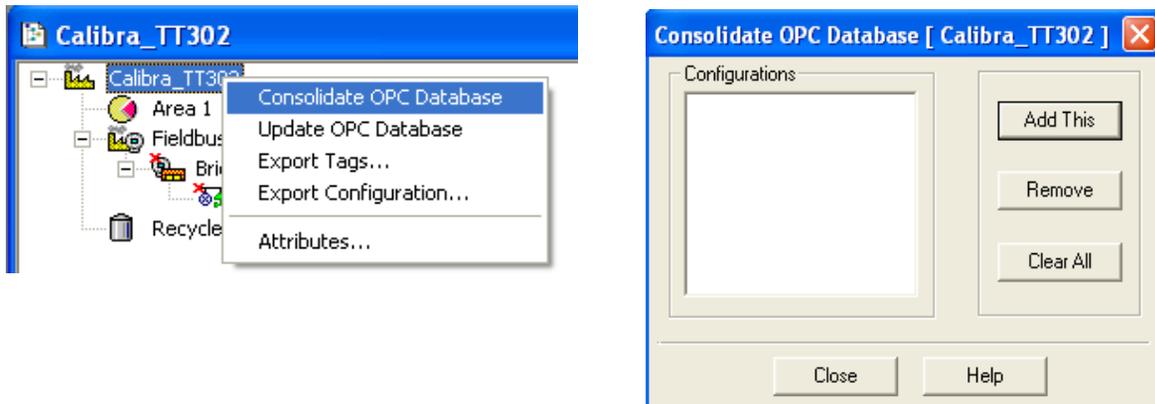


Figura 13.25 – Consolidação dos dados OPC.



## Etapa 2 – ajuste



A eletrônica dos transmissores *FieldBus* é bastante estável e normalmente não precisa de calibrações adicionais após a calibração da fábrica. Entretanto, caso o usuário decida fazer a calibração, poderá seguir os seguintes passos:

1. Para realizar o ajuste do transmissor, é necessário ter um padrão para verificar a temperatura. Neste caso, o padrão é um forno com certificado de calibração, que controla e indica a temperatura padrão (Figura 13.26 – Um padrão para calibração do TT302.);

**Figura 13.26** – Um padrão para calibração do TT302.



2. O *software* de configuração deverá estar no modo *online*, e os dados OPC deverão estar consolidados. Aperte com o botão direito no bloco transdutor (TT302-TRD TT-1) e selecione “On Line Characterization”(Figura 13.27);
3. Caso a comunicação seja realizada com sucesso, aparecerá na coluna Quality aparecerá a informação “Good:.”. A variável medida será mostrada no parâmetro *Primary\_Value* (Figura 13.28);
4. Pressione o botão "ALL" na parte superior da janela, para que sejam mostrados todos os parâmetros do bloco transdutor (Figura 13.29):
  - a) Para realizar o ajuste (*trim*) inferior, a temperatura no sensor deverá ser conhecida; assim, especifique uma temperatura determinada no forno e, após a estabilização, se o valor de *PRIMARY\_VALUE* for diferente, insira o valor medido no parâmetro *CAL\_*

*POINT\_LO*. Para especificar o *trim* superior, o sensor deverá estar numa temperatura estável conhecida e superior ao *trim* inferior. Insira essa temperatura no *CAL\_POINT\_HI* e pressione "ENTER";



- b) Finalmente, o valor do parâmetro *PRIMARY\_VALUE* deverá ser muito próximo ao valor medido pelo padrão, e o ajuste terá sido finalizado.

Figura 13.27 – *On Line Characterization* do bloco transdutor do TT302.

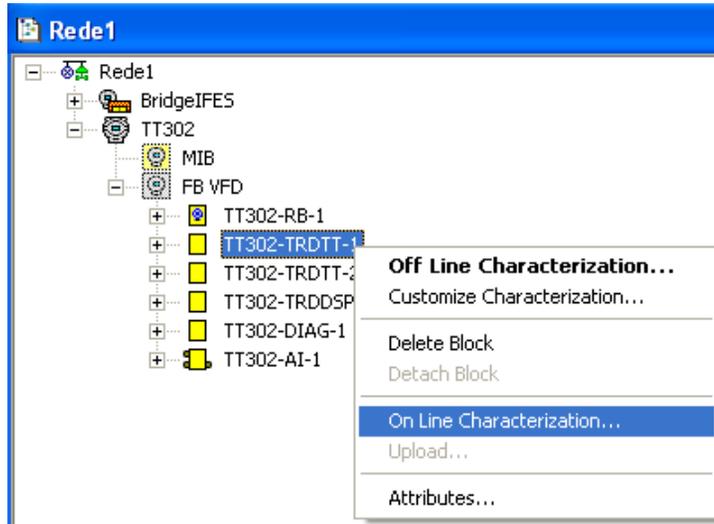


Figura 13.28 – Consolidação dos dados OPC.

On Line: TT302 - Transducer - TT302-TRDIT-1

Parameter	Value	Quality	Cha...	Offset	Han...
MODE_BLK				5	
BLOCK_ERR	<None>	Good:Non Specific		6	RO
PRIMARY_VALUE_TYP	Process temperature	Good:Non Specific		13	RW
PRIMARY_VALUE				14	
STATUS	Good_NonCascade:NonSpecific:NotGood:Non Specific			.1	RW
VALUE	20.257751	Good:Non Specific		.2	NO
PRIMARY_VALUE_RAI				15	
SENSOR_TYPE	Pt 100 IEC	Good:Non Specific		20	RW
SENSOR_CONNECTION	three wires	Good:Non Specific		27	RW
SECONDARY_VALUE				28	
SECONDARY_VALUE_°C		Good:Non Specific		29	RW
SENSOR_TRANSDUCI		Good:Non Specific		39	RW

Buttons: Cancel Edit, Edit, Clear, Close, Help

**Figura 13.29** – Parâmetros do bloco transdutor do dispositivo TT302.



Parameter	Value	Quality	Cha...	Offset	Han...
TRANSDUCER_DIRECO		Good:Non Specific		9	RO
TRANSDUCER_TYPE	Standard Temperature with calibrator	Good:Non Specific		10	RO
XD_ERROR	Default value set	Good:Non Specific		11	RO
COLLECTION_DIRECTO		Good:Non Specific		12	RO
PRIMARY_VALUE_TYI	Process temperature	Good:Non Specific		13	RW
PRIMARY_VALUE				14	
STATUS	Good_NonCascade::NonSpecific:No	Good:Non Specific		.1	RW
VALUE	99.951172	Good:Non Specific		.2	RO
PRIMARY_VALUE_RAI				15	
CAL_POINT_HI	99.989998	Good:Non Specific	V	16	RW
CAL_POINT_LO	49.990002	Good:Non Specific	V	17	RW
CAL_MIN_SPAN	10	Good:Non Specific		18	RW
CAL_UNIT	°C	Good:Non Specific		19	RW
SENSOR_TYPE	Pt 100 IEC	Good:Non Specific		20	RW
SENSOR_RANGE				21	

## 6 NORMAS E LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA

- NBR ISSO/IEC 17025;
- Não inverter a ligação dos fios do calibrador de pressão. Embora ele tenha proteção contra tensão negativa, com o tempo isso pode danificar seu instrumento.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

- Na configuração do sistema mostrado neste laboratório, seria possível incrementar mais dispositivos. Para explicar melhor sua resposta, desenhe um croqui;
- Faça um resumo de todos os passos da configuração do sistema;
- No ajuste do transmissor de temperatura, responda com fundamento: o elemento de medição primário é necessário?
- No ajuste do transmissor, porque é indispensável o conhecimento real dos valores medidos do trim baixo e alto?

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KUPHALDT, T. R. **Lessons in Industrial Instrumentation**. Creative Commons Attribution 3.0. United States License, 2012.

MANUAL DE INSTRUÇÕES, OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO – TT302. Smar, 2014.

MANUAL DE OPERAÇÃO E INSTALAÇÃO SYSCON – Configurador de Sistema. Smar, 2008.

MANUAL DO USUÁRIO DO COMUNICADOR HART YHC 4100. Yokogawa, 2007.

MANUAL TÉCNICO DO BANHO TÉRMICO TIPO BLOCO SECO T-350P/T-650P. Presys.



# CAPÍTULO 14

—

# VÁLVULA DE CONTROLE

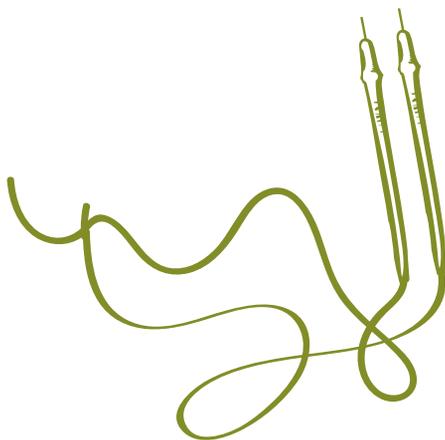
**Autores:**

Gustavo Maia de Almeida

João Vitor Ferreira Duque

Marco Antônio de Souza Leite Cuadros

Tatiane Policário Chagas



# 1 CONCEITOS

As válvulas de controle são uns dos elementos finais de controle mais importantes. Estes dispositivos regulam, através de uma parte móvel, a passagem de um fluido numa tubulação.

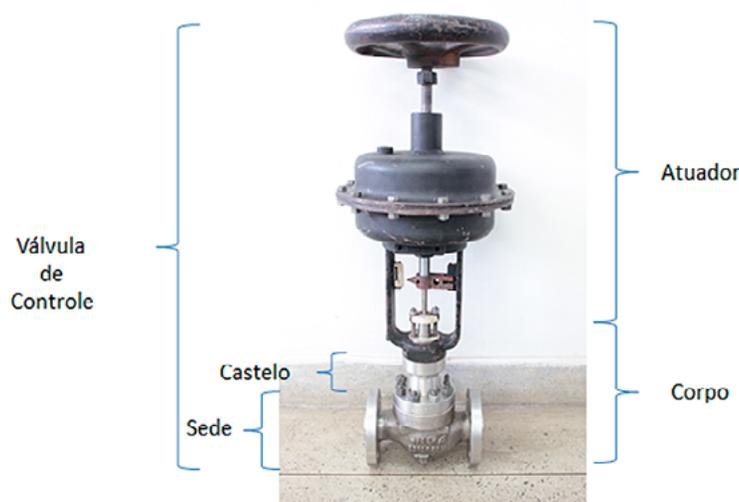


As principais funções de uma válvula de controle são:

- 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, temperatura, corrosão, erosão, sujeira e contaminantes do fluido;
- Responder ao sinal de atuação do controlador. O sinal padrão é aplicado ao atuador da válvula, que o converte em uma força, que movimenta a haste, em cuja extremidade inferior está a passagem do fluido pela válvula;
- Variar a área de passagem do fluido manipulado. A válvula de controle manipula a vazão do meio de controle pela alteração de sua abertura, para atender às necessidades do processo;
- Absorver a queda variável da pressão da linha, para compensar as variações de pressão a montante ou a jusante dela. Em todo o processo, a válvula é o único equipamento que pode fornecer ou absorver uma 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, conforme Figura 14.1.

**Figura 14.1** – Instalação do sensor de vazão placa de orifício.





As válvulas podem possuir acessórios que a otimizam, como posicionador, *booster*, chaves, volantes, relé de inversão, transdutor. Encontram-se, no mercado, válvulas inteligentes de controle (baseadas em microprocessadores) que incorporam, em um único instrumento atuador, controlador, portas de comunicação digital e alarmes.

De maneira sucinta, podemos descrever a finalidade das principais partes da válvula de controle:

**Atuador:** fornece a força necessária para movimentar o obturador em relação à sede da válvula. Classifica-se de acordo com seu deslocamento, em relação ao sinal de entrada de ar. Se a entrada de ar ocorre pela parte superior, é um atuador direto; se o sinal da entrada de ar ocorre pela parte inferior, é um atuador indireto.

**Castelo:** além de servir de guia da haste do obturador, permite a conexão do atuador ao corpo. Nele se encontra a caixa do engaxetamento. Classifica-se pelo seu tipo: normal, aletado, alongado e foles de vedação.

**Corpo:** parte da válvula que fica em contato com o fluido, acomodando as sedes e permitindo o acoplamento da válvula ao processo. Classifica-se em sede simples ou sede dupla.

**Posicionador:** é o principal acessório da válvula, sendo o dispositivo que transmite a pressão de carga ao atuador, posicionando a haste da válvula no local exato determinado pelo sinal de controle.

As válvulas podem ser classificadas em dois tipos gerais, baseados no movimento do seu dispositivo de fechamento e abertura: 1. deslocamento linear e 2. rotação angular, conforme as Figuras 14.2.

**Figuras 14.2** – (a) Válvula linear – Globo (b) Válvula rotativa – Borboleta.



(a)



(b)

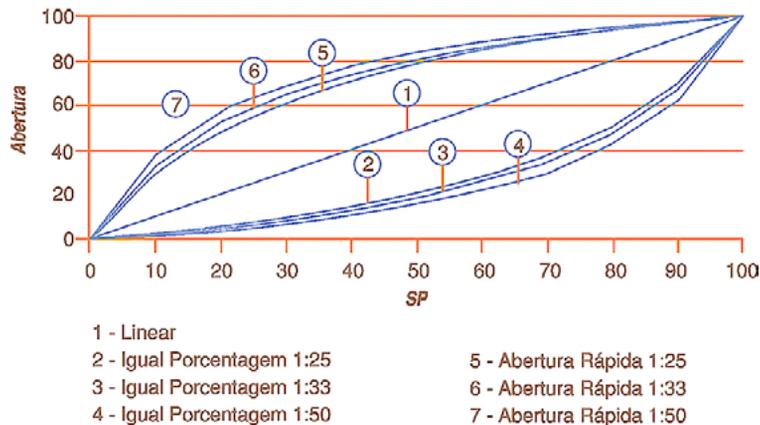
A válvula linear possui o obturador preso a uma haste de deslocamento linear, em uma cavidade (sede da válvula), variando a área de passagem do fluido. Um exemplo clássico é a válvula tipo globo, ilustrada na Figura 14.2. A válvula rotativa possui um obturador (*plug*) preso a uma haste de deslocamento rotativo. A válvula borboleta e esfera são exemplos típicos de válvulas rotativas.



A forma e o tipo de obturador determinam como a área do orifício de passagem do fluido é reduzida, determinando o desempenho da válvula.

A curva característica de vazão de uma válvula de controle informa a proporcionalidade da variação da vazão do fluido em relação ao deslocamento da haste, sendo classificada em três tipos: linear, que produz uma variação de vazão proporcional à variação de abertura; de abertura rápida, cujo obturador produz uma grande variação na taxa de vazão, para pequenas variações na abertura do obturador; e igual percentagem, que produz um deslocamento unitário da haste da válvula, à mesma percentagem de variação de vazão. A Figura 14.3 ilustra o gráfico de curvas características típicas de abertura de válvulas de controle.

Figura 14.3 – Curvas características típicas de uma válvula de controle.



## 2 OBJETIVOS

Este capítulo tem como objetivo:

- Apresentar a válvula na indústria de processo e destacar a importância de uma válvula de controle dentro de um processo industrial, apresentando suas principais características, assim como suas vantagens, desvantagens e aplicações;
- Apresentar a montagem, a visualização do funcionamento e a obtenção da curva de abertura de uma válvula de controle;
- Apresentar a calibração e a construção da curva característica de uma válvula de controle, realizada em uma planta didática de laboratório;



- Identificar fisicamente as partes constituintes da válvula de controle típica;
- Apresentar a resposta da válvula ao sinal do atuador, permitindo a sua calibração e o seu ajuste;
- Identificar a curva característica da válvula em um processo de controle de vazão.

### 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

#### Atividade prática 1 – Identificação das partes de uma válvula de controle

Número do item	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	1	Válvula globo
2	2	Válvula borboleta
3	1	Válvula esfera
4	1	Ferramentas para montagem e desmontagem

#### Atividade prática 2 – Ligação e teste de acionamento de uma válvula de controle

Número do item	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	1	Válvula de controle borboleta pneumática com posicionador analógico de 4 a 20 mA
2	1	Fonte de corrente de 4 a 20 mA
3	1	Ponto de fornecimento de ar comprimido

#### Atividade prática 3 – Obtenção da curva característica de uma válvula de controle

Número do item	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO
1	1	Válvula de controle tipo globo pneumática com conversor I/P
2	1	Medidor de vazão – rotâmetro
3	1	Fonte de corrente de 4 a 20 mA
4	1	Ponto de fornecimento de ar comprimido

## 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

Verificar o correto funcionamento de todos os materiais e equipamentos antes do início das atividades. O laboratório deverá estar organizado e limpo para ter um ambiente propício para um melhor aprendizado.



## 5 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DAS AULAS PRÁTICAS

### Atividade prática 1 – Identificação das partes de uma válvula de controle

Carga horária	Pré-requisitos
4 horas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimentos básicos de instrumentação;</li> <li>• Conhecimentos básicos de fluidos;</li> <li>• Conhecimentos básicos de válvulas.</li> </ul>

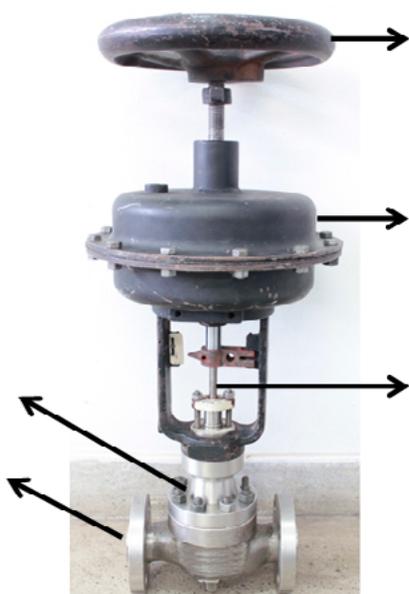
Válvulas de controle são utilizadas largamente pela indústria como mecanismos instalados em linhas de tubulações que se destinam a diferentes propósitos, tais como: garantir a segurança da instalação e dos operadores, ou ainda permitir a realização de manutenções e substituições de elementos da instalação e, principalmente, estabelecer e controlar a pressão e escoamento de fluidos em tubulações. Essencialmente, a válvula de controle é um componente que dissipa energia hidráulica de maneira controlada.

## ETAPAS

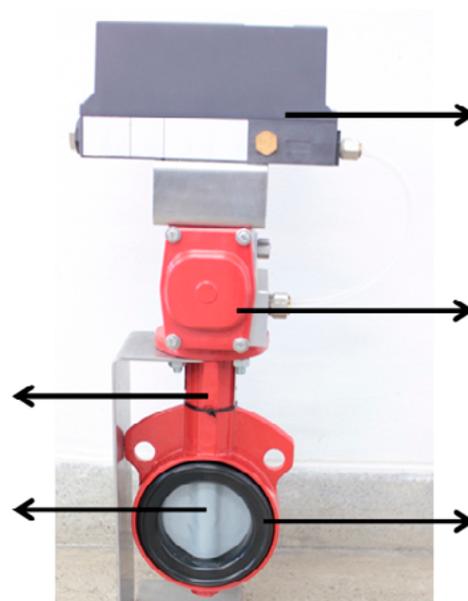


- Identificar as válvulas que serão utilizadas e as ferramentas necessárias para desmontar cada uma delas;
- Entender o princípio de funcionamento de cada uma;
- Identificar os elementos externos que compõem a válvula:

Válvula 1



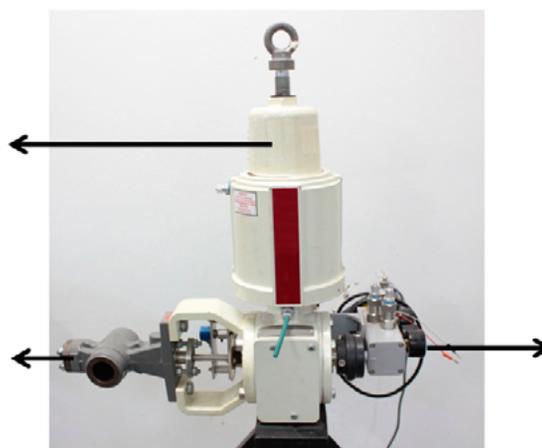
Válvula 2



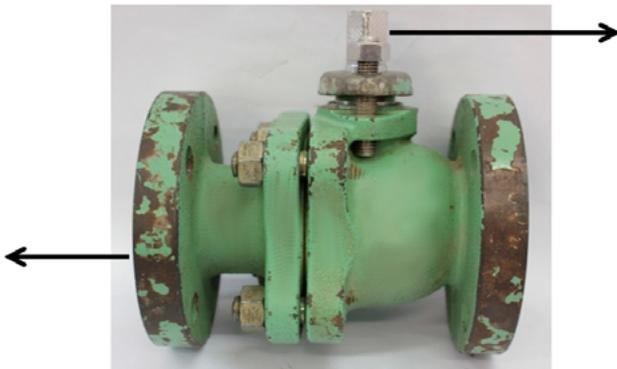
Válvula 3



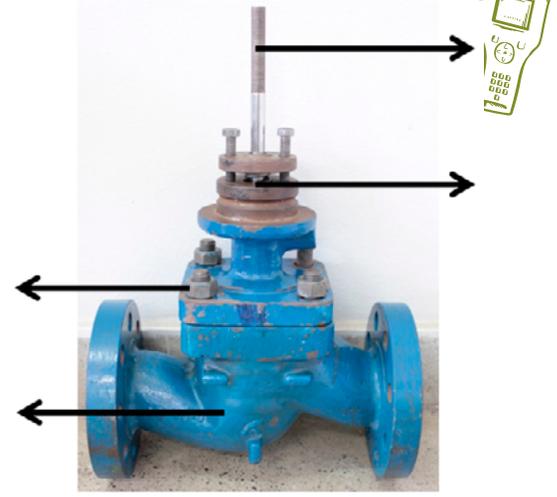
Válvula 4



Válvula 5

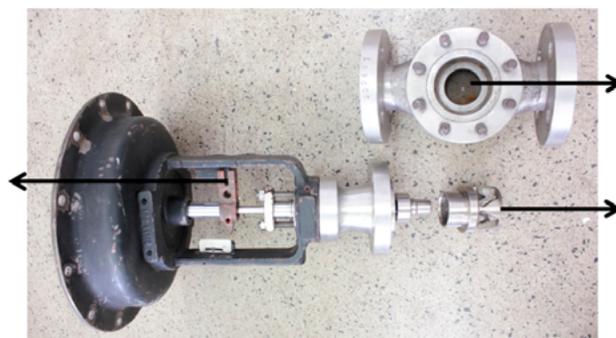


Válvula 6

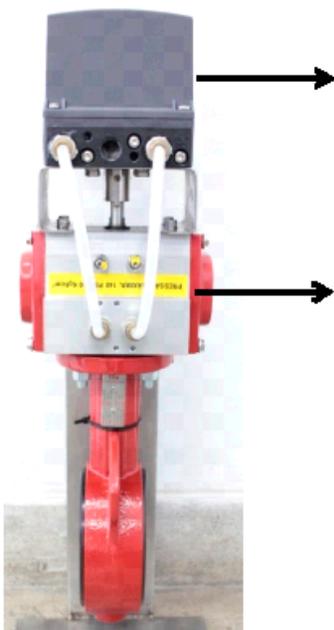


d) Desmontar as válvulas e identificar os elementos que compõem o interior de cada uma delas:

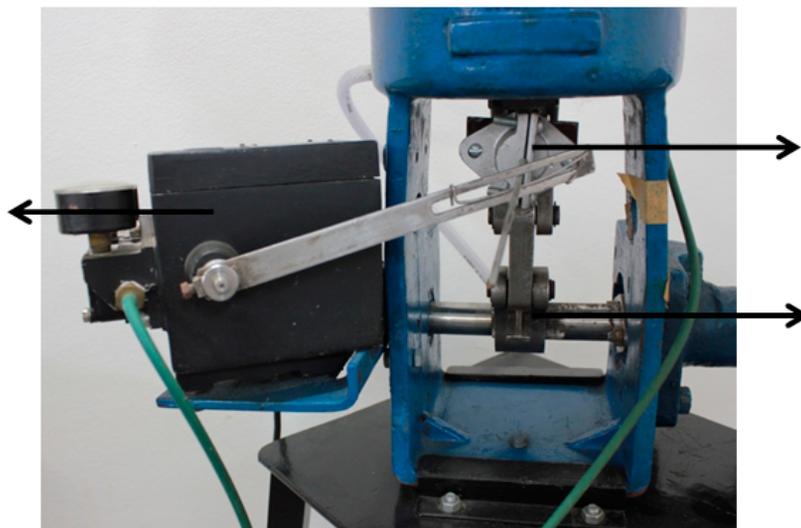
Válvula 1



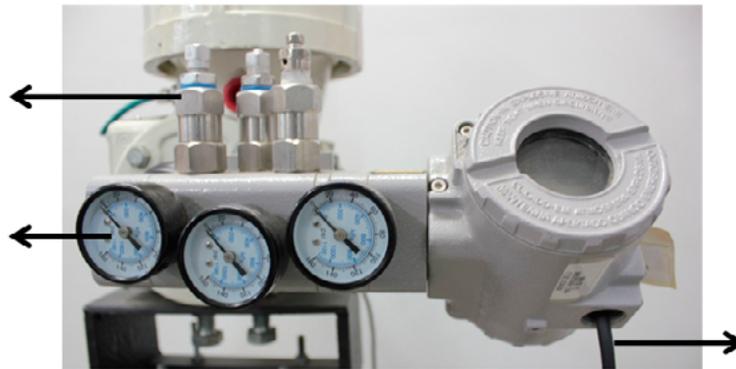
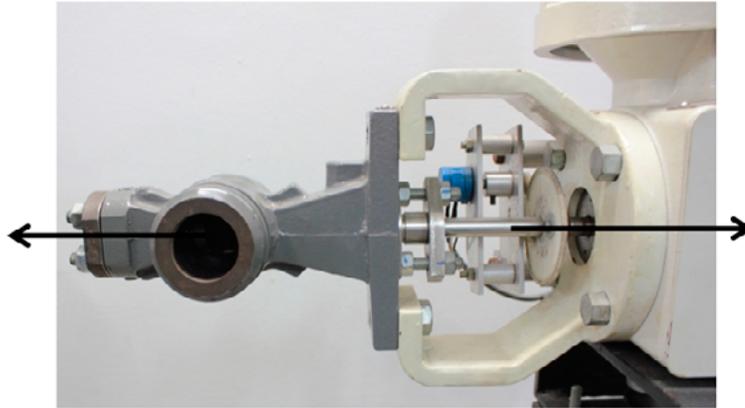
### Válvula 2



### Válvula 3



Válvula 4



Válvula 5



**Válvula 6**



## Atividade Prática 2: Teste de acionamento de uma válvula de controle

Carga horária	Pré-requisitos
2 horas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimentos básicos de instrumentação;</li> <li>• Conhecimentos básicos de fluidos;</li> <li>• Conhecimentos básicos de válvulas.</li> </ul>

Válvulas de controle necessitam de constantes inspeções e testes, visando sua manutenção preventiva, a fim de se assegurar o melhor desempenho possível e a sua precisão. Por meio de testes e diagnósticos, é possível avaliar a condição de operação de válvulas de controle. Nesta atividade prática, serão realizados testes de acionamento de uma válvula de controle. A Figura 14.4 ilustra uma válvula de controle tipo borboleta.

**Figura 14.4** – Foto da válvula de controle tipo borboleta.

## Etapas

### 1. Avaliação inicial:

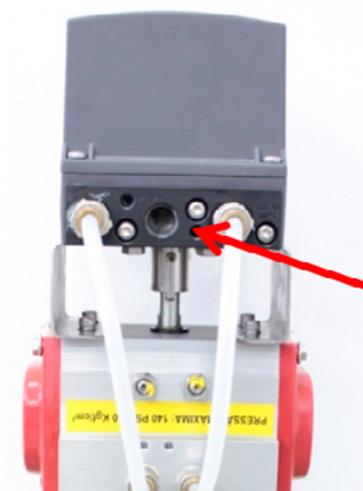
- a) Consultar o manual de especificação para verificar as condições operacionais da válvula a ser testada antes do início da prática, identificando os seguintes aspectos: faixa de alimentação de corrente e pressão, curso e ação da válvula;
- b) Verificar condições das partes móveis mecânicas e possível corrosão externa.

### 2. Testes da válvula de controle e calibração:

- a) Ligar uma fonte calibrada de sinal pneumático à entrada do posicionador, Figura 14.5, verificando a faixa de funcionamento da válvula:



**Figura 14.5** – Entrada de ar comprimido.



b) Ligar uma fonte calibrada de sinal elétrico de 4 a 20 mA ao posicionador da válvula, Figura 14.6:

**Figura 14.6** – Posicionador da válvula borboleta.



c) Aplicar o sinal elétrico de 4 mA e verificar a posição da válvula, Figura 14.7. Fazer o mesmo para 20 mA, Figura 14.8:

**Figura 14.7** – Sinal de 4 mA aplicado no posicionador da válvula.



Figura 14.8 – Sinal de 20 mA aplicado no posicionador da válvula.



d) Caso seja verificado que a válvula encontra-se completamente aberta e completamente fechada no item anterior, proceder com a verificação do posicionamento aplicando uma rampa crescente de sinal elétrico com incremento de 25%. Fazer o mesmo para uma rampa decrescente. Anotar as posições de abertura em porcentagem:

Corrente (mA)	4	8	12	16	20
posição (%)					

Corrente (mA)	20	16	12	16	20
posição					

Caso seja verificado que a válvula não fecha completamente ao sinal de 4 mA, proceder com o ajuste de zero. Caso seja verificado que a válvula não abre completamente com o sinal de 20 mA, proceder com o ajuste de amplitude de medição (*span*). Aplicar novamente o sinal de 4 mA e 20 mA, conferindo a abertura e o fechamento completo da válvula. Se necessário, fazer novo ajuste. Após o ajuste de zero e amplitude de medição, retornar ao item *d* e verificar o posicionamento da válvula.

e) Com base nos valores do item *d*, desenhar a curva de abertura da válvula, ou seja, desenhar o gráfico de corrente (mA) versus posição do obturador (%).

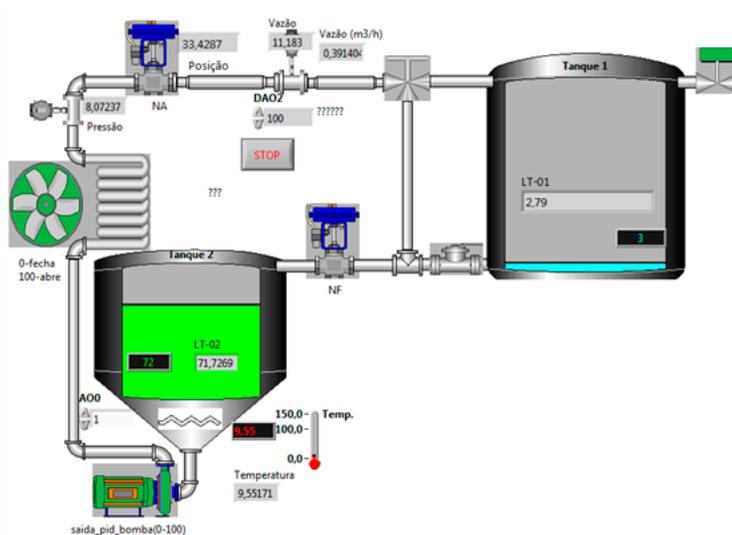
## Atividade prática 3 – Obtenção da curva característica de uma válvula de controle



Carga horária	Pré-requisitos
2 horas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecimentos básicos de instrumentação;</li> <li>• Conhecimentos básicos de fluidos;</li> <li>• Conhecimentos básicos de válvulas.</li> </ul>

A Figura 14.9 ilustra o desenho esquemático da planta didática utilizada nessa atividade prática:

**Figura 14.9** – Esquemático da planta didática.



### Etapas

#### 1. Avaliação Inicial:

- Realizar uma pesquisa sobre as condições operacionais das válvulas a serem testadas antes do início da prática, identificando os seguintes aspectos: cavitação, ruído, vibração, vazamentos diversos e condições das conexões;
- Verificar condições das partes móveis mecânicas e possível corrosão externa da válvula, bem como todos equipamentos nela incorporados;
- Verificar os dados de placa das válvulas de controle e seus acessórios e confrontar com os dados da pesquisa sobre as condições operacionais da válvula. Anotar os itens necessários para calibração.

Figura 14.10 – Planta didática.



## 2. Testes da válvula de controle e calibração:

a) Com a válvula instalada na planta de controle, aplicar sinal de corrente de 4 a 20 mA, em rampa crescente;

Figura 14.11 – Válvula de controle e medidor de vazão.





**Figura 14.12** – Medidor de vazão.



- b) De forma a detectar o tempo morto e a banda morta, aplicar sinal com pequena variação no início da abertura. Em seguida, aplicar sinal com variação de 7,5% na posição;
- c) Registrar a posição da válvula e a vazão;
- d) Traçar a curva característica instalada da válvula.

Realizando a experiência na planta apresentada na Figura 14.11, instalação do sensor de vazão placa de orifício, a Tabela 14.1 apresenta os dados de vazão *versus* posição, cuja curva característica é representada pelo gráfico da Figura 14.13.

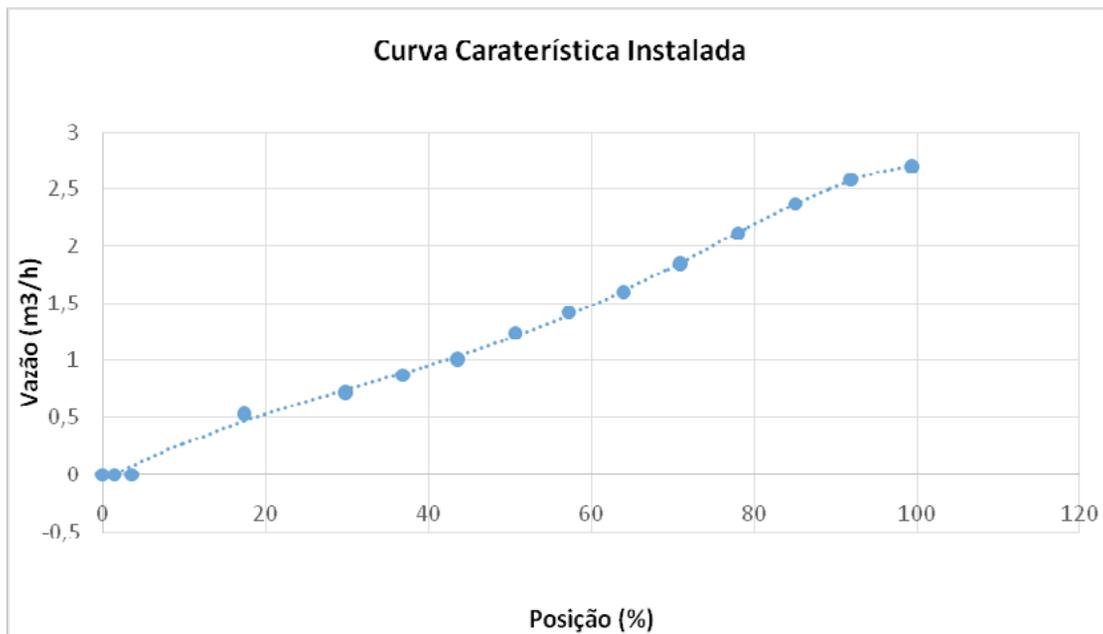
**Tabela 14.1** – Vazão x Posição.

Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Posição(%)
0	0
0	1,5
0	3,6
0,53	17,4
0,72	29,8
0,87	36,9



1,01	43,6
1,24	50,7
1,42	57,3
1,6	64
1,85	70,9
2,11	78,1
2,37	85,1
2,58	91,9
2,7	99,4

Figura 14.13 – Curva característica da válvula.



## 6 NORMAS E LEGISLAÇÃO DE SEGURANÇA

Durante a realização dessas atividades práticas, o aluno deve usar óculos de proteção, calça e sapato fechado. Ler as normas de utilização do laboratório e seguir as orientações do professor.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

## Atividade prática 1 – Identificação das partes de uma válvula de controle:



- a) Quais são os elementos que compõem os internos de uma válvula e suas principais funções?
- b) Características técnicas. Para cada válvula, indique:
  - Característica quanto ao corpo (globo, esfera, borboleta, bipartida, com/sem flange inferior, guilhotina etc.);
  - Característica quanto ao tipo de movimento do obturador (linear ou rotativo);
  - Qual o tipo de conexão da válvula? (rosqueada, flangeada ou por pressão?);
  - Quem está guiando a sede?
- c) Possui gaiola ou não? Se sim, ela é balanceada? É de baixo ruído?
- d) Qual a posição em que a válvula deve ser instalada?
- e) Qual tipo de junta deve ser usada para a conexão? Em forma de coroa circular (rf) ou junta de anel metálico (rtj)?
- f) Qual o tipo de castelo? (normal, longo ou aletado?)
- g) Observando as gaiolas das válvulas 1 e 6 e fazendo uma pesquisa, identifique o tipo de característica inerente da válvula.

## Atividade prática 2 – Ligação e teste de acionamento de uma válvula de controle

- a) Explique o princípio de funcionamento de uma válvula de controle tipo borboleta pneumática com posicionador analógico de 4 a 20 mA;
- b) Defina histerese e banda morta. Comente o procedimento para obtenção;
- c) Defina linearidade e comente o procedimento para obtenção;
- d) As seguintes afirmações são verdadeiras (V) ou falsas (F). Julgue-as:
  - ( ) Para uma válvula de controle pneumática com posicionador de 4 a 20 mA já calibrada, quando for aplicado um sinal de 12 mA, a válvula abrirá sempre a 50%.
  - ( ) Para uma válvula de controle pneumática sem posicionador, com um conversor I/P também calibrada, quando for aplicado um sinal de 12 mA, a válvula estará sempre aberta a 50%.
  - ( ) O posicionador é um controlador de posição do obturador das válvulas de controle.

## Atividade prática 3 – Obtenção da curva característica de uma válvula de controle



- a) Cite os tipos de curva características de vazão inerentes? Faça um croqui de vazão *versus* posição de cada uma delas;
- b) Identifique o tipo da curva característica instalada apresentada pela válvula utilizada na experiência. Justifique sua resposta;
- c) Explique a diferença entre curva característica de vazão inerente e curva característica de vazão instalada.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, J.L.L. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 2. ed. Editora LTC, 2010.
- BEGA, E.A. et al. **Instrumentação Industrial**. 3.ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência e IBP: Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás, 2003.
- CAMPOS, M.C.M.M.; TEIXEIRA, H.C.G. **Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais**. 2. ed. Editora Blucher, 2010.
- DUNN, W.C. **Fundamentos de Instrumentação Industrial e Controle de Processos**. Editora: Bookman. 2013.
- FIALHO, A.B. **Instrumentação Industrial - Conceitos, Aplicações e Análises**. 7. ed. Editora Érica: 2010.
- SIGHIERI, L.; NISHINARI, A. **Controle Automático de Processos Industriais**. 2. ed. Editora Blucher: 1973
- SCHWEITZER, P.A. **Handbook of Valves**. New York: Industrial Press, 1972.



# CAPÍTULO 15

-

# SIMBOLOGIA

**Autor:**

Luciano Leonardo Sampaio Fortes



# 1 CONCEITOS



Os processos industriais são representados graficamente através de um P&ID, também conhecido como fluxo de processo, padronizados pelos órgãos ISA (*The Instrumentation Systems and Automation Society*) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). A norma ANSI/ISA S5.1 – 1984 (R 1992) é responsável pela padronização do P&ID, que permite representar a função do instrumento, a localização de instalação, os sinais que estão conectando os instrumentos e de qual forma este instrumento está implementado no processo. A Tabela 15.1 apresenta alguns dos principais símbolos usados para P&IDs. Para mais detalhes, procure a referência bibliográfica.

**Tabela 15.1** – Tabela de símbolos gerais.

Tipo de instrumento	Simbologia
Válvula genérica aberta (esquerda) e fechada (direita)	
Instrumento discreto	
Instrumento discreto de função dupla	
Instrumento compartilhado	
Função em computador	
Lógica sequencial de controle	
Instrumento de função dupla	
CLP (Controlador lógico programável)	

# 2 OBJETIVOS

- Transcrever um processo industrial para um Diagrama de Processo e Instrumento (P&ID – *Process and Instrument Diagram*);
- Compreender um processo a partir de um P&ID;
- Compreender a função do instrumento usando a norma ISA 5.1.

### 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS



Número do item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	A norma ANSI/ISA S5.1 – 1984 (R 1992)
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	A norma ANSI/ISA S5.1 – 1984 (R 1992)
2	1	P&ID (em anexo)
<b>Atividade prática 3</b>		
1	1	A norma ANSI/ISA S5.1 – 1984 (R 1992)
1	1	CAD ou <i>software</i> similar de elaboração de P&ID (Autocad, Visio, SmartDraw, LucidcHART, entre outros)

### 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima elencados e observe se todas os computadores (caso a prática exija), estão em conformidade.

### 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA

Para a realização da seguinte prática, serão desenvolvidas três atividades práticas envolvendo os conceitos de simbologia. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de três alunos.

#### Atividade prática 1 – Análise de instrumentos em planta industrial

<b>Carga horária</b>	30 min
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos de instrumentação

Nesta atividade prática, serão analisados diferentes instrumentos apresentados em processos industriais, bem como a atribuição de sua simbologia de acordo com a norma ISA 5.1.

## Etapas



- a) Identifique quais são os instrumentos apresentados (da Figura 15.1, instrumento utilizado em práticas anteriores, ajustado para pressão alta, à Figura 1.8, célula de carga.) e desenhe suas simbologias de acordo com a norma ISA 5.1;

**Figura 15.1**– Instrumento utilizado em práticas anteriores, ajustado para pressão alta.



**Figura 15.2** – Analisar o instrumento demarcado pelo quadrado vermelho.

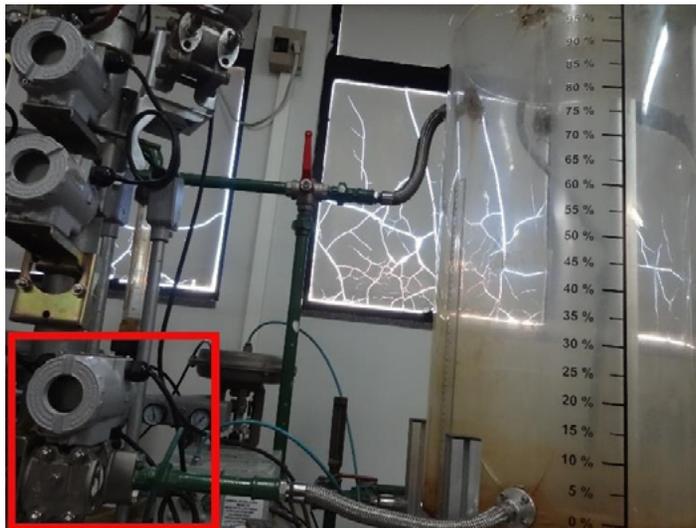


Figura 15.3 – Instrumento usado obrigatoriamente em tanques fechados.



Figura 15.4 – Instrumento que deve ser instalado na mesma direção e em sentido oposto ao fluxo, escala de 0 a 100 °C.



Figura 15.5 – Analisar os instrumentos que estão demarcados em vermelho.



**Figura 15.6** – Sabendo que esse instrumento está sendo usado para medir nível.



**Figura 15.7** – Sensor magnético usado para identificar quando o pistão desce.



**Figura 15.8** – Célula de Carga.



## Atividade prática 2 – Descrição de P&ID



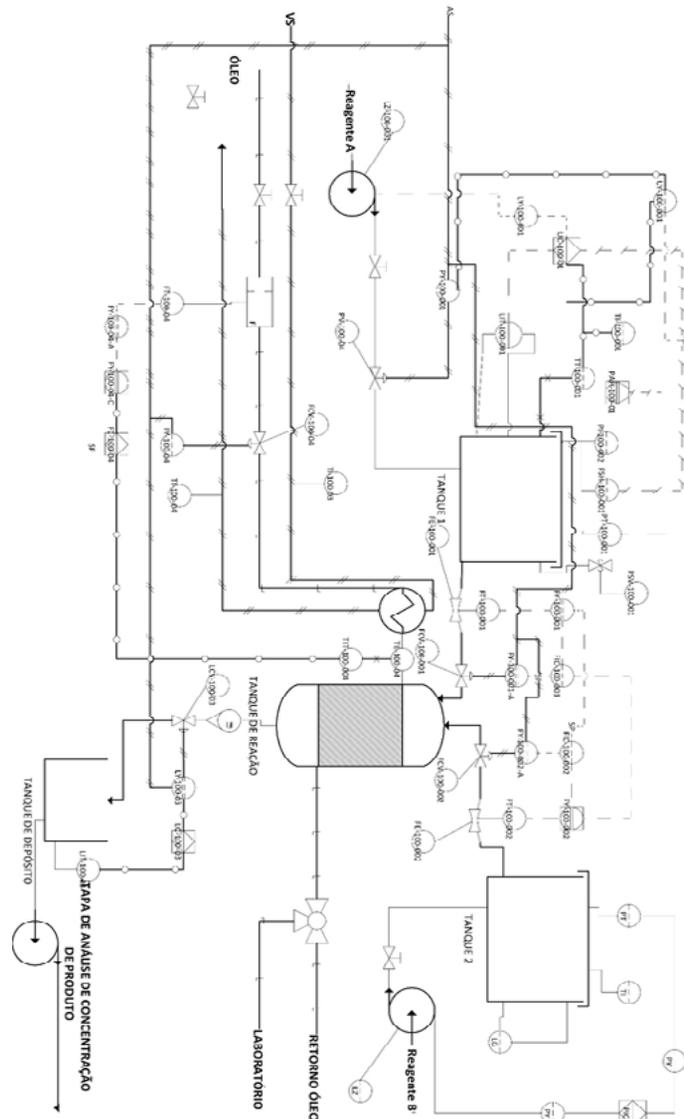
<b>Carga horária</b>	1 hora
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos de instrumentação

Analisar um P&ID e compreender se o que o processo realiza é essencial para um profissional. Esta prática apresenta um P&ID fictício para que possa ser analisado e compreendido

### Etapas

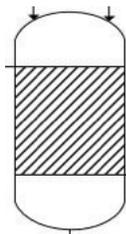
- Analisar o diagrama da Figura 15.9 e compreender como elas são apresentadas em um processo industrial real;
- Descrever o que está acontecendo com o processo.

**Figura 15.9** – Diagrama P&D, exemplo de um processo industrial.

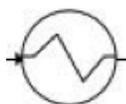




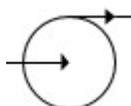
Legenda:



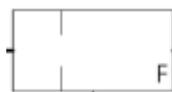
Tanque de Reação



Trocador de calor



Bomba Rotativa



Placa de Orifício



Válvula de Segurança



Tubo de Venturi

## Atividade prática 3 – Elaboração de P&ID

<b>Carga horária</b>	2 horas
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos de instrumentação

A norma ISA 5.1 tem a finalidade de padronizar os instrumentos industriais, de forma que qualquer usuário que analise o P&ID compreenda o que está ocorrendo nesse processo.

## Etapas

- a) Instale um programa, à sua escolha, que permita elaborar P&ID.
- b) Leia com atenção a descrição do processo abaixo e, usando seu programa, elabore o diagrama.



## Descrição do Processo de Produção de Ovos de Páscoa

Para realizar a produção de chocolate, o processo se inicia com o cacau. Após ser colhido e secado de forma natural, a sua semente se transforma em amêndoa e é triturada até se transformar na torta de cacau, que é a base para a criação do chocolate, podendo ser líquida ou em pó. Uma fábrica que compra essa torta para produzir ovos de páscoa não possui um P&ID e tem as etapas abaixo. Monte o P&ID para a empresa:

### a) Primeira Etapa – Derretedeira

A torta de Cacau deve passar por uma derretedeira que suporta 300 kg, com a finalidade de derreter o chocolate. Essa derretedeira necessita de uma célula de carga para verificar se tem 300 kg. No momento em que chega a esse valor, uma válvula solenoide interrompe a entrada do produto. Esse sinal elétrico vem do controlador que se localiza em um painel principal.

Após serem inseridos os 300 kg, é acionada a resistência, que deve manter uma temperatura de 45° C para que o chocolate derreta. Para ativar a resistência, o controlador de temperatura envia um sinal para um conversor de potência, localizado em um controlador lógico situado em um painel principal. Para selecionar a temperatura de 45 °C, é usado um termostato. E, para que o produtor tenha certeza, é adicionado um termômetro na derretedeira para que ele possa observar qualquer variação.

Para ocorrer um derretimento uniforme, é usado um motor que gira constantemente usando um inversor de frequência localizado no painel elétrico não acessível. Como a derretedeira é aberta, não é necessário se preocupar com a pressão interna.

### b) Segunda Etapa – Temperadeira

Após o produto ficar em média 30 minutos na derretedeira, é aberta uma válvula do tipo esfera com atuador pneumático, que lança o produto derretido para a temperadeira, onde é misturada a água.

A água, para ter sua temperatura constante, passa por um trocador de calor que passa vapor por ele, tem um transmissor de vazão deprimogênio que recebe o sinal de uma placa de orifício na entrada da tubulação antes do trocador, e um transmissor de temperatura que recebe o sinal de um termopar do tipo K na saída após trocador. Esses transmissores enviam o sinal a uma unidade aritmética que realiza uma razão. O controlador Lógico programável, que está montado no painel principal, controla uma válvula pneumática que libera ou bloqueia a passagem do vapor dependendo do valor ajustado.



A temperatura da mistura é analisada por 4 termopares que enviam sinal a transmissores indicadores registradores de temperatura localizados no painel elétrico, que, por sua vez enviam seus sinais a um computador com função de unidade aritmética, que irá realizar a média das temperaturas e encaminhar o valor a um indicador de display compartilhado e a um termostato que ativa um alarme de temperatura. Caso a temperatura indicada pelos termopares seja elevada, é ativado um alarme de temperatura alta e controla-se uma válvula pneumática que insere vapor ao trocador de calor.

### **c) Terceira Etapa – Dosadora (dosagens constantes de chocolate)**

Após um tempo ajustado via CLP, a válvula esfera pneumática localizada na saída da temperadeira abre e permite a passagem do chocolate para a etapa onde será distribuído em moldes de ovos de páscoa.

Nessa Etapa, temos um sensor de posição que envia o sinal elétrico binário direto ao CLP quando um molde se aproxima da injetora de chocolate. Quando o molde está embaixo da injetora, o motor da esteira para e é injetado chocolate até atingir um certo nível. Este nível é medido por um sensor capacitivo que envia um sinal direto ao CLP e a um alarme de nível alto localizado no painel elétrico não acessível ao operador, que emite um sinal sonoro caso o nível ultrapasse o valor ajustado no CLP. Quando o nível atinge seu valor ajustado, a válvula pneumática do tipo esfera fecha e o motor é reiniciado para levar o produto à próxima etapa.

### **d) Quarta Etapa – Planetária (gira para deixar tudo uniforme)**

Após o molde ser preenchido por chocolate, é necessário que o chocolate seja igualmente distribuído dentro dele. Para isso, passa por um instrumento conhecido como Planetária, que pega os moldes e fica girando constantemente por 5 minutos (tempo suficiente para o chocolate endurecer). Após isso, é passado para a etapa de pesagem.

Esse equipamento permite colocar até 5 moldes ao mesmo tempo. Há sensores de posição do tipo capacitivo na entrada de cada estrutura para o molde. Quando um molde se aproxima do sensor, ele envia um sinal elétrico binário a uma unidade aritmética que conta a quantidade de sinais recebidos. Quando essa unidade recebe os 5 sinais, ela envia um sinal elétrico binário ao CLP, e este envia o sinal a um conversor de tensão que ativa o motor fazendo com que a planetária comece a girar. Ao finalizar os 5 minutos, a planetária para e os ovos são retirados manualmente do molde e encaminhados para a etapa de Pesagem.

### **e) Quinta Etapa – Pesagem (inserir bombons)**

Nesta etapa, cada ovo de páscoa deve ter 300 gramas ao ter bombons inseridos em seu interior.

Os ovos são posicionados sobre uma esteira. Depois, são encaminhados a uma célula de carga que verifica a massa de cada ovo. O sinal da célula de carga é encaminhado a um transmissor indicador com alarme de peso alto localizado no painel elétrico.

Vai sendo inserido um bombom de cada vez através de uma garra pneumática que possui uma chave de posição baixa e uma chave de posição alta. Quando a garra está na posição baixa, envia-se o sinal elétrico binário ao CLP, que analisa seu programa e envia a um conversor de corrente para pressão o sinal para uma bomba sugadora puxar o bombom e, ao mesmo tempo, é enviado o sinal do

CLP a outro conversor para fazer com que a garra pneumática eleve de posição. Ao chegar na posição alta, o sensor de posição alta envia o sinal ao CLP para desligar o sugador.

#### f) Etapa Final – Embalagem

A última etapa é feita completamente de forma manual.

Obs.: Para as ações pneumáticas, o suprimento de ar é fornecido por um compressor, a tubulação deve apresentar um regulador de pressão antes de distribuir o ar e, além disso, ele possui um controlador de pressão com indicador. Antes de cada instrumento pneumático, existe uma válvula manual do tipo esfera e um regulador de pressão manual com indicador analógico. Cada válvula pneumática possui um posicionador cujo sinal elétrico vem direto do controlador lógico programável localizado na sala principal.



## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

Trabalhar com nível de luminosidade adequado para utilizar computador (NBR5413), devendo obedecer às regras de segurança conforme regimento do laboratório de informática (caso se aplique).

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade 1 – Análise de Instrumentos em planta Industrial

- É possível que um Transmissor de Pressão Diferencial tenha nomenclaturas diferentes pela norma ISA 5.1?
- É possível diferenciar um termoresistor de um termopar pela norma ISA 5.1?
- Se substituirmos o sensor da Figura 5.7 por um sensor capacitivo, realizando a mesma atividade, o que mudaria pela norma ISA 5.1?

### Atividade 2 – Descrição de P&ID

- É possível saber qual o modelo do instrumento analisando a norma ISA 5.1?
- O que significa o número 100 em todos os instrumentos?
- Observe que, no tanque 2, os instrumentos e sinais não estão de acordo com a norma ISA 5.1. Redesenhe considerando local de instalação, nomenclatura e malha.
- Considerando a planta em anexo, qual dos reagentes é o mais importante no processo? O reagente A ou o B?

## Atividade 3 – Elaboração de P&ID



- a) Em “exemplos de aplicação”, o P&ID não está apresentando as malhas dos instrumentos. Identifique as malhas nesses instrumentos.
- b) A última etapa é feita puramente de forma manual. Descreva como pode ser feita de forma automatizada.
- c) Elabore o P&ID para a etapa automatizada que você criou na questão anterior.
- d) Informe uma malha aberta e uma malha fechada no processo de fabricação de ovos de Páscoa.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIAS, C. A. **Técnicas Avançadas de instrumentação e Controle de Processos Industriais Ênfase em Petróleo e Gás**. 2º Edição, Technical Books, 2012.

KUPHALDT, T. **Lessons In Industrial Instrumentation**. Versão 1.22, 2012.

# CAPÍTULO 16

-

# INSTRUMENTAÇÃO ANALÍTICA

Autores:

Adilson Ribeiro Prado

Rodrigo Leone Alves



# 1 CONCEITOS



A principal diferença da instrumentação analítica em relação à instrumentação industrial é sua capacidade de detectar parâmetros qualitativos da amostra a ser monitorada. Portanto, além da detecção quantitativa tradicional, esses equipamentos devem apresentar a capacidade de detectar espécies específicas em um determinado meio. O parâmetro qualitativo faz com que a denominação *sensor* seja ampliada para *analisador*, sendo essa uma denominação comum em instrumentação analítica.

Uma forma de entender a complexidade dessa área é fazer uma simples comparação entre o processo de medição de nível e pH. Se há, em um reservatório de água, petróleo, vinho ou efluente industrial, um mesmo medidor ultrassônico consegue monitorar o nível do reservatório desconhecendo o seu conteúdo. Porém, medir a “acidez” via um analisador de pH impõe a necessidade do meio ser aquoso e que tenha variação na quantidade dos íons  $H^+$ , já que esse analisador só consegue quantificar esse parâmetro. Com isso, tal técnica torna-se mais seletiva e cara.

O presente capítulo tem o objetivo de comentar algumas características fundamentais dessa área, pois, para o aprofundamento, seria possível apresentar longas discussões que não se enquadram no objetivo desse livro. Com isso, serão apresentados alguns fundamentos de grande importância na instrumentação analítica e, em seguida, serão desenvolvidos alguns roteiros experimentais de fácil execução.

No Quadro 16.1, ilustra-se o tipo de analisador e algumas características importantes desses sistemas, sendo explorados apenas os mais tradicionais em instrumentação analítica. É interessante destacar que a lista de analisadores é muito longa, e o quadro apresenta um pequeno pedaço desse mundo.

**Quadro 16.1** – Alguns analisadores da instrumentação analítica e suas características importantes.

Analisador	Elemento sensor	Princípio de funcionamento	Modelo e sistemas de detecção do sinal
Analisador de pH (por potenciometria)	Membrana de vidro	Diferença da concentração dos íons $H^+$ dentro e fora da membrana de vidro	Equação de Nernst
Analisador de oxigênio por sonda de óxido de zircônio	Cuba de óxido de zircônio	Diferença na concentração de oxigênio difundido dentro da cuba e fora da cuba de óxido de zircônio	Equação de Nernst



Analizador seletivo de íons (análise em solução)	Membrana de vidro	Diferença da concentração dos íons dentro e fora da membrana de vidro. Tais íons podem ser de cálcio, nitrato, fosfato e outro	Equação de Nernst
Analizador de condutividade elétrica	Placa paralela ou elementos condutores com geometria equivalente	Detecta a condutividade elétrica do meio, condutividade essa manifestada por íons presentes no meio	Lei de Ohm
Condutividade térmica	Detectar a variação de corrente em uma resistência, quando ela é submetida a um fluxo de gás	Variação da potência de dissipação de uma resistência de alta precisão	Lei de Ohm
Analizador de infravermelho	Absorção energética via estiramento e deformação das ligações químicas formadoras de uma dada molécula	Detecção da depreciação do sinal de uma fonte de infravermelho devido à absorção de uma dada substância molecular	Lei de Beer-Lambert
Espectrofotômetro (alguns tipos de colorímetros, medidor de turbidez e outros analisadores)	Detector óptico na faixa do visível	Detecção da depreciação do sinal de uma fonte óptica no visível	Lei de Beer-Lambert
Espectrofotômetro de chama (para íons metálicos)	Detector óptico na faixa do visível ou regiões próximas ao visível	Detecção das raias espectrais emitidas pelos átomos em análise	Lei de Beer-Lambert, caso seja usada uma fonte óptica de estimulação
Espectrômetro de massa (MS)	Fotomultiplicador, multiplicador de elétrons e chapa de multicanal	A substância é ionizada e acelerada em um forte campo magnético. Cria íons da amostra e mede a relação carga/massa para caracterizar a amostra em estudo	Leitura de corrente sobre a placa multicanal do equipamento



Cromatografia	<p>Pode apresentar diferentes detectores. Como exemplo, é possível citar o MS, a condutividade térmica ou elétrica</p>	<p>De uma forma simples, é possível dizer que o princípio de funcionamento está relacionado com a afinidade química da substância-problema com a fase móvel e a fase fixa</p>	<p>Leitura de corrente sobre a placa multicanal do equipamento ou Lei de Ohm. Porém, a depender da técnica de detecção usada, é possível dizer que a cromatografia é uma técnica que necessita de uma complementação para sua operação, mais precisamente no quesito detecção</p>
Analisadores refringentes	<p>Dispositivo óptico, que pode ter característica semelhante a um prisma conectado a um fotodetector ou a um fotodiodo</p>	<p>Mudanças no índice de reflexão de um meio a ser analisado impõem variações na potência óptica do detector usado</p>	<p>Lei de Ohm, mais precisamente, medição da potência no fotodetector do sistema ou mudança no ângulo incidência, caso seja usado um prisma como elemento detector</p>

Deve ser destacado que o quadro acima dá apenas uma visão geral dos analisadores, e seu principal valor está nos “modelos e sistemas de detecção”. Mesmo com o vasto número, verificando a coluna citada, é possível agrupar os diferentes analisadores, fato que possibilita entender grande quantidade de equipamentos de uma forma simples, direcionando o estudo ligado à instrumentação analítica. Dominando os modelos, o próximo passo é conhecer os princípios de funcionamento. Com eles, será possível entender as restrições e a aplicabilidade de cada analisador.

A seguir serão apresentados dois experimentos com o objetivo de mostrar três importantes áreas da instrumentação analítica. A primeira consiste na medição de pH; a segunda, em conhecer o processo de cromatografia; e a última, na medição do teor de açúcar via princípios ópticos.

## 2 OBJETIVOS

- Conceitos básicos sobre pH;
- Manutenção do eletrodo de pH;
- Fortalecer conhecimentos dos princípios da cromatografia;



- Verificar o efeito de polaridade da fase móvel sobre três pigmentos distintos;
- Entender o conceito de refratometria;
- Entender a operação de um refratômetro;
- Determinar o grau Brix de uma solução usando um refratômetro.

### 3 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Item	Quant.	Descrição
<b>Atividade prática 1</b>		
1	1	Analisador de pH com mostrador digital e compensação de temperatura
2	1 L	Refrigerante Coca-Cola
3	1 L	Água potável ou água destilada
4	150 mL	Leite de magnésio
<b>Atividade prática 2</b>		
1	1	Marcador para quadro branco, cor azul
2	1	Marcador para quadro branco, cor preta
3	1	Marcador para quadro branco, cor vermelha
4	1	Lápis ou lapiseira
5	1	Papel filtro (utilizado em cafeteiras)
6	1	Acetona
7	1	Recipiente com tampa (cuba cromatográfica)
<b>Atividade prática 3</b>		
1	1	Refratômetro
2	1	Becker
3	1	Pipeta
4	200 mL	Garapa (caldo de cana)
5	50 g	Fermento químico

### 4 PREPARO DO LABORATÓRIO PARA A AULA PRÁTICA

O procedimento requererá que o professor/técnico providencie todos os materiais e equipamentos acima. Cuidados devem ser tomados com as fontes de alimentação, e os procedimentos apresentados deverão ser seguidos. O leite de magnésio deverá ser diluído na razão de 50 mL para cada 250 mL de água ou valor aproximado.

## 5 PROCEDIMENTOS PARA A EXECUÇÃO DA AULA PRÁTICA



Para a realização da seguinte atividade, serão desenvolvidas três práticas envolvendo os conceitos de instrumentação analítica. Sugere-se, também, que os estudantes sejam divididos em grupos de dois a quatro alunos. A lista de materiais e métodos sugere que, para cada grupo de alunos, sejam adquiridos os itens enumerados.

### Atividade prática 1 – Medição de pH

<b>Carga horária</b>	30 minutos
<b>Pré-requisitos</b>	Conhecimentos básicos de pH (equilíbrio químico da água)

Nessa primeira atividade, será realizado um experimento simples de modo que os alunos verifiquem as grandes alterações de pH que diferentes meios do cotidiano apresentam.

### Etapas

- Verificar se o analisador de pH está devidamente alimentado e pronto para funcionamento;
- Retirar a proteção do sensor de pH (membrana de vidro, tal sensor deve estar armazenado em contato com meio aquoso);
- Coloque em três recipientes distintos as três amostras líquidas necessárias para o teste. Certifique-se de que os recipientes estejam rotulados;
- Inserir a sonda do analisador de pH em cada meio, e depois que a indicação do valor de pH estiver estável, registrar a medição. Assim, quando a variação de pH for lenta e pequena, considere o teste realizado;
- Limpe o elemento sensor do analisador com água limpa e repasse o teste anterior com os dois meios seguintes;
- Verifique a temperatura dos meios onde foram realizados os testes.

### Atividade prática 2 – Princípio de cromatografia

<b>Carga horária</b>	1 hora
<b>Pré-requisitos</b>	Noções de química geral

Depois de separados os materiais necessários, como apresentado de forma ilustrativa na figura abaixo, o procedimento poderá ser iniciado. Deve ser destacado que o mesmo procedimento poderá ser executado com caneta esferográfica de cores variadas e álcool etílico como fase móvel.



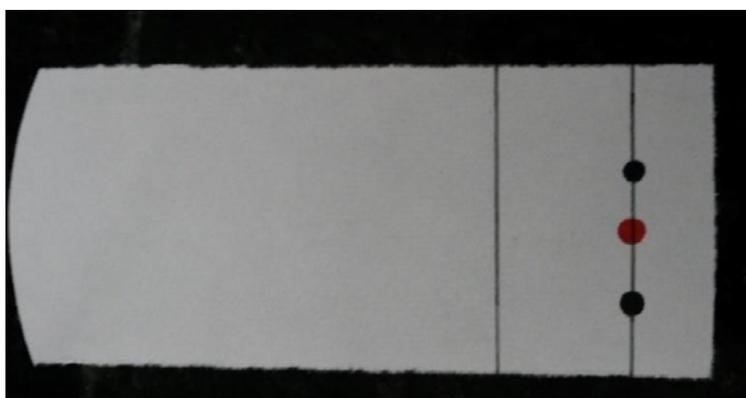
**Figura 16.1** – Materiais para o laboratório.



## Etapas

- Corte o papel filtro em formato retangular. Caso deseje, dobre sua parte interior para melhor sustentação do papel quando estiver em contato com o solvente;
- Faça uma linha com o lápis a aproximadamente 1 cm da extremidade inferior da folha. Na sequência, faça outra linha a dois centímetros da primeira. Poderá ser utilizada mais de uma linha de referência, caso deseje;
- Faça um ponto com os marcadores azul, vermelho e preto na linha inferior, conforme Figura 16.2, marcação na folha.

**Figura 16.2** – Marcação na folha.



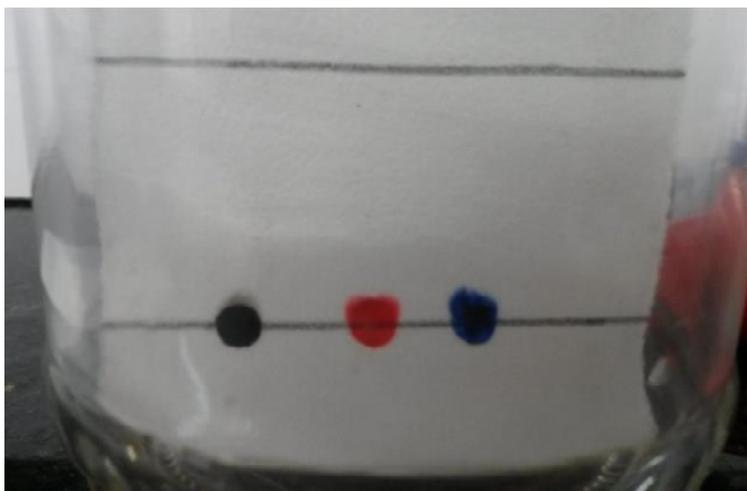


- d) Coloque aproximadamente 0,5 cm de coluna de acetona no recipiente (cuba cromatográfica);
- e) Insira o papel no recipiente de forma uniforme e orientado verticalmente, de modo que a parte inferior do papel filtro entre em contato uniformemente com o solvente (acetona). Em seguida, tampe o recipiente, apenas para evitar a evaporação do solvente, e acompanhe o carreamento dos pigmentos;

Obs.: Quanto menor a dimensão do pigmento na folha, melhor os resultados obtidos. Tal procedimento pode promover a separação dos pigmentos, caso eles sejam adicionados em um mesmo local na folha.

- f) Observe o experimento até que uma das cores atinja a linha superior.

**Figura 16.3** – Início do processo de cromatografia.



## Atividade prática 3 – Utilização do refratômetro para medição do Grau Brix

<b>Carga horária</b>	1 hora
<b>Pré-requisitos</b>	Noções de química geral e óptica linear (dispersão em prisma)

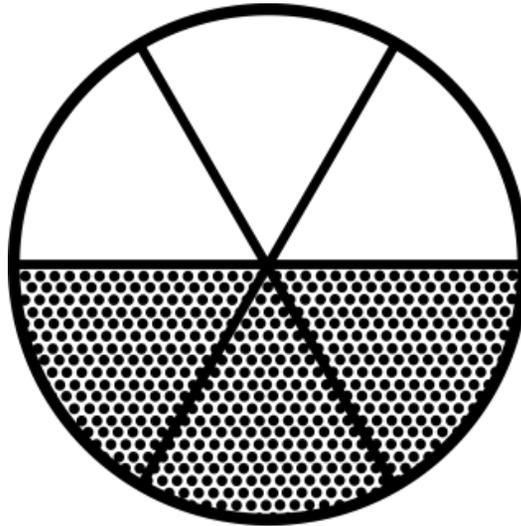
Através do índice de refração, é possível entender o comportamento óptico de um meio, assim como a concentração de componentes e possíveis impurezas presentes. Um exemplo de aplicação desse fundamento é a medição de açúcar via grau Brix, que consiste na medição da fração de massa de açúcar em solução de cana, medida essa que pode variar de 0 a 95%. Essa é uma forma de monitoramento do teor de açúcar referenciada pela Comissão Internacional de Método Uniforme de Análise de Açúcar (ICUMSA).

## Etapas



- a) Antes de iniciar qualquer medição, deve-se utilizar água destilada ou um prisma padrão para verificar as leituras, padronizando o equipamento. Se a verificação for feita utilizando a amostra padrão, coloque duas gotas de brometo de naftalina na superfície polida do prisma refrator. Em seguida, coloque em contato com a superfície polida do prisma padrão, ou de acordo com o informado pelo fabricante do refratômetro utilizado;
- b) Para a calibração da indicação, verifique a indicação e ajuste do instrumento de medição de acordo com o fabricante do modelo usado no laboratório. A leitura com o instrumento calibrado deve-se apresentar conforme a Figura 16.4, leitura padrão do refratômetro:

**Figura 16.4** – Leitura padrão do refratômetro.



- c) Prepare uma amostra com 200 ml de garapa e 50 g de fermento químico;
- d) Com o auxílio de uma pipeta, pingue 02 gotas da solução na superfície polida do prisma do refrator;
- e) Meça no refratômetro o índice de refração dessa solução, anotando o resultado na Tabela 1. Após a leitura, limpe o prisma do refratômetro com papel absorvente conduzindo em apenas uma direção e suavemente, com cuidado para não arranhar a superfície prisma;
- f) Primeiro limpe com água destilada; em seguida, com álcool;
- g) Repita o procedimento acima em intervalo de 5 minutos, tendo cuidado de limpar a pipeta contendo a amostra anterior.

**Tabela 16.1** – Grau Brix em intervalos de tempo.

<b>Tempo (min)</b>	5	10	15	20	25	30	35
<b>Grau Brix</b>							



## 6 NORMAS DE SEGURANÇA PARA A AULA

- O uso de EPIs é necessário e obrigatório em todas as aulas. Além disso, realize todos os procedimentos experimentais acompanhado de outra pessoa, ou seja, nunca trabalhe sozinho;
- Não fume, não coma, não beba e não durma dentro do laboratório;
- Durante a aula, ouça com muita atenção as instruções do responsável ou do professor;
- Peça sempre autorização ao professor quando quiser modificar o procedimento previsto para execução de qualquer experimento;
- Não toque em dispositivos sem prévia consulta ao professor.

## 7 SUGESTÕES PARA CONSOLIDAÇÃO DA PRÁTICA

Serão aplicados questionários para cada atividade prática.

### Atividade prática 1 – Medição de pH

- Qual o princípio de funcionamento do analisador de pH? Ou seja, qual propriedade química dos materiais envolvidos promove a medição de pH na membrana de vidro?
- Qual a influência da temperatura na medição de pH?
- Por que o analisador de pH deveria ter compensação de temperatura?
- Cite 5 processos industriais que necessitam da correta medição de pH em sua cadeia de produção.

### Atividade prática 2 – Princípio de cromatografia

- Qual o princípio de funcionamento do cromatógrafo de papel montado? Ou seja, qual propriedade química dos materiais envolvidos promove esse deslocamento diferenciado sobre a fase estacionária?

- b) Por que as linhas de grafite não sofrem deslocamento no processo de carreamento da fase móvel?
- c) Pesquise sobre a cromatografia de gás (CG). Faça um comparativo entre os elementos contidos no CG e na cromatografia em papel;
- d) Descreva uma aplicação da cromatografia em um processo industrial.



### Atividade prática 3 – Utilização do refratômetro para medição do Grau Brix

- a) O que é o processo de refratometria?
- b) Defina *índice de refração* e suas aplicações na indústria.
- c) Qual a definição do grau Brix?
- d) Quais as aplicações da medição de grau Brix?
- e) Analisar os dados obtidos na Tabela 16.1 e traçar o gráfico de grau Brix *versus* Tempo.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COHN, P. E. **Analisadores industriais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, IBP, 2006.

SKOOG D. A., HOLLER F. J., NIEMAN T. A. **Princípios de Análise Instrumental**. 5. ed. São Paulo: Bookman, 2002.

SKOOG D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**. Tradução da 8. ed. norte-americana. São Paulo: Thompson, 2006.



Esta obra foi composta pela fonte Minion Pro,  
corpo 12 e em papel *offset* 90 g.