



INSTRUMENTAÇÃO
INDUSTRIAL
NO ENSINO MÉDIO TÉCNICO



ORGANIZADORES

Bruno Mendonça Sabino
Kaio Graco Costa Garcia
Tércio Graciano Machado
Flanelson Maciel Monteiro
Raimison Bezerra de Assis
Djalma Valério Ribeiro Neto

**INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL NO
ENSINO MÉDIO TÉCNICO**



BRUNO MENDONÇA SABINO
KAIO GRACO COSTA GARCIA
DJALMA VALÉRIO RIBEIRO NETO
FLÁNELSON MACIEL MONTEIRO
RAIMISON BEZERRA DE ASSIS
TÉRCIO GRACIANO MACHADO
(ORGANIZADORES)

**INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL NO
ENSINO MÉDIO TÉCNICO**

1ª Edição

Quipá Editora
2024

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta obra é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados, bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Dra. Anny Kariny Feitosa, IFCE
Dra. Érica P.C.L. Machado, UFRN
Dra. Elaine Carvalho de Lima, IFTM
Dra. Harine Matos Maciel, IFCE

Capa: elaborada pelos autores

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

I59 Instrumentação industrial no ensino médio técnico / Bruno Mendonça Sabino ... [et al.]. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2024.
80 p. : il.

ISBN 978-65-5376-411-8
DOI 10.36599/qped-978-65-5376-411-8

4 Indústria – Instrumentação. 2. Ensino técnico. I. Sabino, Bruno Mendonça.
II. Título.

CDD 670

Elaborada por Rosana de Vasconcelos Sousa — CRB-3/1409

Obra Publicada pela Quipá Editora em outubro de 2024

Quipá Editora
www.quipaeditora.com.br
@quipaeditora

APRESENTAÇÃO

A humanidade ao longo da sua história evolutiva sempre fabricou produtos e serviços na medida em que iam surgindo as necessidades. Com a Revolução Industrial ocorrida na segunda metade do século XVIII a quantidade produzida artesanalmente já não atendia a demanda devido a situação econômica favorável que fomentou incremento no consumo. Nesse período a força de trabalho deixou de ser centralizada em um único artesão, sendo substituída por uma produção mecanizada e fabril. Essas mudanças ocorreram ao longo de 200 anos, sendo marcos históricos e representaram as três revoluções industriais.

Na atualidade temos a quarta revolução industrial, denominada de Indústria 4.0 e que, pela primeira vez na história, vem sendo estudada antes de ocorrer ou durante o seu desenvolvimento. Neste contexto, manter o maior controle possível sobre os processos de uma indústria é de extrema importância não apenas para operadores, mas para a corporação como um todo. Exatamente por isso, a instrumentação industrial tem se tornado cada dia mais presente no dia a dia de empresas, principalmente diante da realidade da 4ª Revolução Industrial.

A Instrumentação Industrial é a área responsável pelo estudo de todos os instrumentos que são necessários em um processo produtivo e, através do estudo dos instrumentos, podemos facilmente selecionar os mesmos de acordo com os requisitos de cada processo.

Esta obra, intitulada “**Instrumentação Industrial no Ensino Médio Técnico**”, apresenta de forma clara e sucinta os princípios fundamentais dessa área; a terminologia adotada, a norma ISA-S5, bem como os principais instrumentos que fazem a medição da pressão, vazão, temperatura, nível e demais grandezas. O objetivo dessa medição no processo é para garantir o aumento na produtividade, melhoria na qualidade e com segurança.

Neste contexto, essa obra procurar apresentar caminhos e possibilidades para utilização das tecnologias na implementação do saber científico e no fortalecimento do ensino médio técnico nessa área do conhecimento.

Boa leitura.

RESUMO

Nos tempos atuais, o mundo globalizado e o ambiente industrial exigem uma atualização constante dos profissionais, pois já estamos efetivamente formando profissionais para trabalhar no ambiente da Indústria 4.0 e, naturalmente, atuar num ambiente onde novas máquinas, equipamentos e processos são renovados a cada dia; e no ambiente educacional há necessidade de encontrar respostas novas e rápidas para atender essas demandas. A Instrumentação Industrial é a ciência que estuda, desenvolve e aplica dispositivos para medição, registro e controle das variáveis físicas (pressão, vazão, temperatura, nível; dentre outras) nos processos industriais; otimizando-os com eficiência, segurança e garantindo a qualidade da produção.

A abordagem dessa temática nos cursos técnicos em mecânica, mecânica industrial, técnico em instrumentação industrial e afins, que atuam em indústrias como a automobilística, petroquímica e energia, zelando pelo bom funcionamento de máquinas e equipamentos, é de fundamentação importância manter o controle do processo produtivo, garantindo a segurança operacional e aumentando o desempenho do processo. Neste contexto, o livro Instrumentação Industrial no Ensino Médio Técnico apresenta de forma sucinta e utilizando a linguagem como um instrumento de comunicação e organização do pensamento; ideias, conceitos, normas (ISA-S5) e os principais instrumentos que fazem a medição e controle das variáveis dos processos industriais; procurando associar a teoria ministrada em sala de aula com a prática desenvolvida no ambiente industrial.

O intuito principal deste livro é atuar na promoção do desenvolvimento de novas aprendizagens, contribuindo com a pesquisa, o trabalho em equipe e a inovação; ampliando as possibilidades de atuação do técnico em mecânica com autonomia, eficiência e de forma competente.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	
RESUMO	
CAPÍTULO 1	07
INTRODUÇÃO	
CAPÍTULO 2	28
MEDIÇÃO DE PRESSÃO	
CAPÍTULO 3	41
MEDIÇÃO DE VAZÃO	
CAPÍTULO 4	55
MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	
CAPÍTULO 5	62
MEDIÇÃO DE NÍVEL	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
SOBRE OS AUTORES	79

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

A instrumentação está associada aos processos industriais (contínuos e descontínuos) e aos seus sistemas de automação, pois as indústrias fazem uso de diversos tipos de equipamentos (estáticos, dinâmicos e elétricos). Dessa forma, para que os processos industriais funcionem com qualidade há necessidade de que as variáveis que interferem diretamente nele, como pressão, vazão, temperatura, nível, dentre outras, sejam mantidas constantes; em conformidade com as especificações de cada processo. Independentemente de qual processo, produto fabricado ou área de atuação, é necessário a medição e o controle destas variáveis.

A instrumentação atuando diretamente nos processos, realizando a medição e o controle das variáveis, permite a melhoria na qualidade, o aumento na quantidade do produto, visto que há uma redução no número de peças defeituosas, e a garantia de maior segurança nesses processos industriais.

Na segunda metade do século XVIII a revolução industrial significou um período de grande desenvolvimento tecnológico, garantindo o surgimento da indústria e consolidando o processo de formação do capitalismo pelo mundo. Seu pioneirismo é atribuído a Inglaterra, pois nesse país surgiu a primeira máquina a vapor no ano de 1698, construída por Thomas Newcomen; sendo aperfeiçoada por James Watt, em 1765.

No processo de industrialização os operários inicialmente realizavam suas atividades laborais de forma artesanal, onde controlavam as variáveis de forma manual para atingirem seus objetivos, utilizando para tantos instrumentos simples, tais como manômetros, termômetros, válvulas de controle manual, dentre outros. Com o passar do tempo, aumento cada vez maior da demanda e processos industriais cada vez mais complexos; houve a necessidade de automação nestes e a utilização de instrumentos que pudessem realizar com mais rapidez e precisão a medição e o controle.

Os operários deixaram de atuar diretamente nos processos, passando a trabalhar numa única sala, onde ocorria a centralização das variáveis. Com isso, pode-se fabricar produtos que seriam impossíveis de serem produzidos por meio do controle manual; além

de garantir a integridade dos operários, reduzindo o número de acidente no ambiente produtivo.

Na atualidade, o nível de excelência na produção só foi possível devido aos avanços tecnológicos nos sistemas de controle (controle mecânico, hidráulico, pneumático, elétrico, eletrônico e digital). Com o surgimento da computação, tornou-se impraticável o uso de centenas de malhas de controle utilizando-se de instrumentos discretos, pois cada instrumento estava sujeito a falhas; necessitando de manutenção.

Na atualidade o operador gerencia uma enorme quantidade de malhas de controle através de uma tela de computador localizado em uma sala de controle. Dessa forma, existem muitos instrumentos trabalhando através de redes industriais, destacando-se AS-Interface, Profibus, Fieldbus Foundation, Protocolo Hart, Modbus. Há casos em que algumas plantas industriais utilizam instrumentos de medição e controle que se comunicam através de redes wireless.

PROCESSOS INDUSTRIAIS

Os processos industriais podem dividir-se em dois tipos: processos contínuos e descontínuos. Independentemente do tipo de processo as variáveis devem ser mantidas próximas aos valores previamente estabelecidos em casa processo.

Processos Contínuos

Neste processo a produção é executada de forma ininterrupta, onde as matérias primas são alimentadas continuamente no processo e o produto recolhido em tempo real.

Quais as vantagens e desvantagens deste processo comparado com processos tradicionais de produção, que são realizados em lotes, e o processo descontínuo:

VANTAGENS

. Os custos operacionais a longo prazo são considerados baixos, dada a automação do processo;

. Possui um controle de qualidade mais eficiente, pois há um controle automático pela própria linha de produção;

. Menor desperdício;

- . Menor impacto ambiental, uma vez que reduz a quantidade de resíduos gerados e o consumo de energia;
- . Introduz menos variabilidade, melhorando o rendimento.
- . Uso de equipamentos menores;

DESVANTAGENS

- . Usado para grandes volumes de produtos;
- . Necessitam de alto investimento, pois os equipamentos utilizados atuam com alta tecnologia;
- . Maior ocupação de espaço necessário para ter toda a linha de montagem.

As aplicações deste tipo de processo são encontradas nas indústrias petrolíferas, químicas, cimenteira, siderúrgicas e do papel.

Processos Descontínuos

Neste processo o sistema é operado de maneira descontínua, ou seja, em regime não estacionário; onde as matérias primas e os insumos necessários são colocados no sistema de forma a se obter um determinado produto.

As quantidades de material são processadas passo a passo, sendo cada etapa completada antes de passar para a próxima. Quando tudo é concluído, reinicia-se a operação, com uma nova quantidade de matéria prima (cada ciclo pode ser denominado de processo contínuo).

Nos processos descontínuos há um baixo investimento de equipamentos e instalação. Por outro lado, possuem um elevado custo na limpeza e manutenção, elevado intervalo de tempo entre cada ciclo de produção e um maior impacto ambiental devido a necessidade de grandes áreas ou mesmo de diferentes espaços para cada equipamento.

As aplicações deste tipo de processo são encontradas nas indústrias alimentícias e de bebidas, farmacêuticas, de cosméticos, dentre outras.

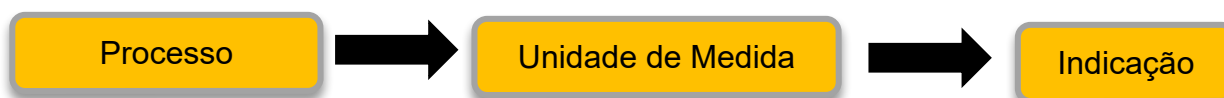
MALHAS DE CONTROLE

Consistem em um conjunto de equipamentos e instrumentos que são utilizados para controlar uma determinada variável do processo industrial. As malhas, conforme o tipo de controle, podem ser abertas ou fechadas.

Malha Aberta

Malha aberta é o tipo de malha em que a variável de processo (saída) não é utilizada para ajustar a variável de entrada, sendo constituída pelos elementos apresentados na Figura 1.

Figura 1 – Elementos constituintes de uma malha aberta.

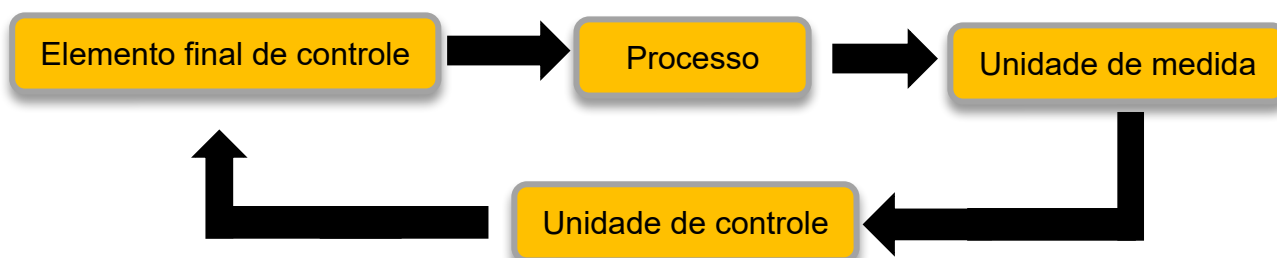


Fonte: laborado pelos autores.

Malha Fechada

Malha fechada é o tipo é aquele onde a variável de processo (saída) é controlada através de correções na variável manipulada (entrada). A Figura 2 mostra os elementos constituintes de uma malha fechada.

Figura 2 – Elementos constituintes de uma malha fechada.



Fonte: laborado pelos autores.

A seleção dentre os tipos de malha depende das especificações técnicas para cada tipo de processo. Os sistemas que utilizam malha fechada oferecem, no geral, maior precisão, eficiência e segurança; mas, por outro lado, são mais complexos e possuem custo maior. Por outro lado, processos mais simples e econômicos, com maior flexibilidade e precisão utilizam a malha aberta.

TERMINOLOGIA ADOTADA NA ÁREA DE INSTRUMENTAÇÃO

Os instrumentos de controle utilizados em processos industriais apresentam uma nomenclatura própria, definindo as características próprias de medição e controle dos diversos instrumentos. Aqui apresentaremos as principais terminologias adotadas no ambiente industrial.

- a) **Set Point (SP):** É o valor no qual deve se manter variável de processo;
- b) **Variável Manipulada (VM):** É a variável na qual se mexe a fim de manter a variável que se deseja (SP).
- c) **Variável de Processo (VP):** É a variável que vai ser controlada (pressão, vazão, temperatura, nível, dentre outras);
- d) **Faixa de Medida (Range):** É o conjunto de valores da variável medida que estão compreendidos dentro do limite superior e inferior da capacidade de medida ou de transmissão do instrumento. Expressa-se determinando os valores extremos.

Exemplo: 0 a 200°C

1 a 5 Mpa

10 a 1000 m³

- e) **Alcance (Span):** É a diferença algébrica entre o valor superior e o inferior da faixa de medida do instrumento.

Exemplo: Em um termômetro com range de 10 a 200°C, seu **Span** é de 190°C.

- f) **Erro:** É a diferença entre o VP e o SP. Caso o processo aconteça em regime permanente denominasse **Erro Estático**, podendo ser tanto positivo quanto negativo; dependendo da indicação do instrumento. Quando se tem a variável alterando seu valor ao longo do tempo, tem-se um atraso na transferência de energia do meio para o medidor, ou seja, o valor medido estará atrasado em relação ao valor real da variável. Essa diferença entre o valor real e o valor medido é denominado de **Erro Dinâmico**.

g) **Sensibilidade:** É a mínima variação que a variável pode ter, provocando alteração na indicação ou sinal de saída de um instrumento.

Exemplo: Em um termômetro com range de 0 a 200°C e com sensibilidade de 0,02% terá valor de:

$$\text{Sensibilidade} = 0,02\% = \frac{0,02}{100} \times 200 = 0,04$$

h) **Exatidão:** É aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro. A exatidão pode ser determinada através do Percentual do Fundo de Escala (% do FE), Percentual do Span (% do span) ou Percentual do Valor Lido (% do VL).

Exemplo: Um manômetro com range de 10 a 150 Mpa e valor medindo 50 Mpa, determine a exatidão desse instrumento sabendo que o valor real para as seguintes condições:

a) Exatidão de 2% do Fundo de Escala

$$\text{Valor Real} = 50 \pm (0,02 \times 150) = 50 \pm 3,0 \text{ MPa}$$

b) Exatidão de 2% do Span

$$\text{Valor Real} = 50 \pm (0,02 \times 140) = 50 \pm 2,8 \text{ MPa}$$

c) Exatidão de 2% do Valor Lido

$$\text{Valor Real} = 50 \pm (0,02 \times 50) = 50 \pm 1,0 \text{ MPa}$$

i) **Zona Morta:** É a faixa onde o sensor não consegue responder, ou seja, é a máxima variação que pode ter a variável sem que haja alterações no sinal de saída do instrumento. Ela define o valor necessário de variação do processo (da variável em medição) para que o medidor comece a percebê-lo.

Exemplo: Determine o valor da Zona morta (0,01%) de um termômetro com range de 0 a 300°C.

$$ZM = \frac{0,01}{100} \times 300 = 0,03$$

j) **Histerese:** É a diferença máxima da indicação do instrumento levando em consideração a análise do ponto medido na subida (crescente) e do mesmo ponto medido na descida (decrecente), ou seja, a diferença do resultado dessas duas medidas (entre subida e descida).

Exemplo: Um instrumento de medição de temperatura com range de -20 a 100°C, tem histerese de $\pm 0,2\%$. Esse erro é de:

$$\text{Histerese} = 0,2\% \times [100 - (-20)] = \frac{0,2}{100} \times 120 = \pm 0,24$$

l) **Repetibilidade:** É a máxima diferença entre diversas medidas de um mesmo valor da variável, adotando sempre o mesmo sentido de variação, ou seja, significa a aptidão de um instrumento em fornecer indicações muito próximas, quando se mede o mesmo mensurando, sob as mesmas condições.

Expressa-se em percentagem do span do instrumento. O termo repetibilidade não inclui a histerese.

PRINCIPAIS FUNÇÕES DOS INSTRUMENTOS NO PROCESSO INDUSTRIAL

Os instrumentos e dispositivos que são utilizados na instrumentação podem ser denominados de acordo com as funções que desempenham no processo:

a) Sensores

É o elemento primário de um transmissor ou transdutor que detecta e responde a estímulos físicos, químicos ou biológicos; estando em contato direto com a variável física. Figura 3 mostra um sensor de torque estático utilizado no controle e instrumentação e células de carga.

Figura 3 – Sensor de torque estático.

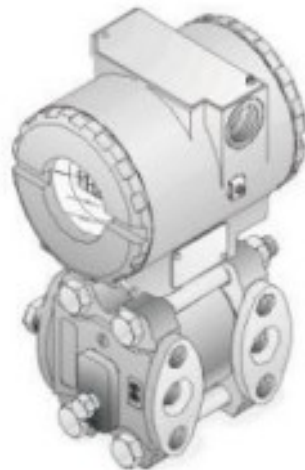


Fonte: MKcontrole (2024).

b) Transmissor

É o elemento que determina o valor de uma variável no processo através de um elemento primário, tendo o mesmo sinal de saída (pneumático ou eletrônico), cujo valor varia apenas em função da variável do processo. A Figura 4 mostra uma válvula de transmissão de pressão.

Figura 4 - Válvula de transmissão de pressão.



Fonte: Tognetti (2024).

c) Transdutor

São os dispositivos ou elementos que detectam alterações nas variáveis físicas de processo, modifica, caso necessário, estas informações e fornecem uma grandeza de

saída em geral elétrica resultante. Dependendo da aplicação, o transdutor pode ser um elemento primário, um transmissor ou outro dispositivo. A Figura 5 mostra um transdutor de pressão utilizado para polímeros.

Figura 5 - Transdutor de pressão para polímeros.



Fonte: DIGITROL.com.br (2024)

c) Indicador

É um instrumento que possui um ponteiro e uma escala graduada na qual podemos ler o valor da variável; podendo ser também ser digital, mostrando a variável de forma numérica com dígitos ou barras gráficas.

A Figura 6 mostra indicadores utilizados na instrumentação industrial.

Figura 6 – Indicadores utilizados na instrumentação industrial.

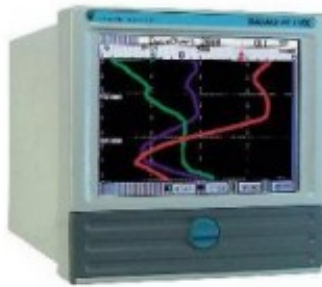


Fonte: Tognetti (2024).

d) Registrador

É um instrumento que registra uma variável através de um traço contínuo ou de pontos de um gráfico. Essas informações poderão dar suporte para posterior análise de desempenho e tomada de decisões. A Figura 7 mostra um registrador utilizado na instrumentação.

Figura 7 – Registrador utilizado na instrumentação industrial.



Fonte: Tognetti (2024).

e) Controlador

É um equipamento que compara o valor medido de uma variável com o valor desejado e ajusta o processo para manter a operação dentro dos parâmetros desejados. A variável poderá ser medida diretamente pelo controlador ou indiretamente através do sinal de um transmissor ou transdutor. A Figura 8 mostra um controlador.

Figura 8 – Controlador.



Fonte: Tognetti (2024).

f) Elemento Final de Controle

É um dispositivo mecânico que atua no processo de forma física quando há uma alteração no set point do sistema de controle, ajustando o valor da variável ao valor previamente especificado. A Figura 9 mostra uma válvula de controle de pressão.

Figura 9 – Válvula de controle de pressão.

Fonte: Tognetti (2024).

NORMA ISA – S5

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através de sua norma NBR 8190, sugere o uso de símbolos gráficos para representação dos diversos instrumentos e de suas funções nas malhas de instrumentos; embora cada empresa possa estabelecer normas próprias na elaboração dos seus diversos documentos de projetos e instrumentação.

Devido a globalização e no sentido de simplificar o entendimento dos documentos utilizados na representação das configurações dos instrumentos e das malhas usadas nos projetos industriais, fazem-se uso de normas e padrões internacionais e nacionais.

As normas da ANSI/ISA S5.1 a S5.5 (Instrument Society of America) para a elaboração de Fluxogramas de Processo, conhecidos internacionalmente como P&ID (Piping and Instrumentation ou Process and Instrumentation Diagrams) são as mais importantes e são referência internacional; servindo de base para a norma brasileira NBR 8190 da ABNT. Neste tópico iremos apresentar de forma simplificada as principais regras de identificação e de simbologia presentes na norma da ISA.

4.1 NORMA ISA S 5.1 - IDENTIFICAÇÃO DE INSTRUMENTOS

A norma ISA S5.1 tem o objetivo de estabelecer um padrão para uniformizar instrumentos e sistemas de instrumentação usados para medição e controle. Para tanto, é apresentado um sistema de designação que inclui símbolos e um código de identificação.

Segundo a norma ISA S 5.1, cada instrumento ou função programada deverá ser identificada por um conjunto de letras que o classifica funcionalmente e um conjunto de algarismos que indica a malha a qual pertence o mesmo. A Figura 10 mostra essa identificação.

A Figura 10 mostra o quadro de orientação para identificação dos instrumentos conforme Norma ISA S5.1.

Figura 10 – Quadro de Identificação dos Instrumentos conforme Norma ISA S5.1.

PRIMEIRA LETRA		LETRAS SUCESSIVAS	
VARIÁVEL LETRA DE MEDIDA MODIFICAÇÃO		FUNÇÃO DE FUNÇÃO LETRA DE LEITURA PASSIVA DE SAÍDA MODIFICAÇÃO	
A	Analizador	Alarme	Alarme
B	Queimador (chama)	Botão de pressão	
C	Condutibilidade Elétrica		Controlador
D	Densidade	Diferencial	
E	Tensão (fem)		Elemento Primário
F	Vazão	Relação	
G	Medida dimensional		Visor
H	Comando manual	Entrada manual	Alto
I	Corrente Elétrica		Indicador ou Indicação
J	Potência	Varredura	
K	Tempo ou Programa		Cálculo em sistema digital
L	Nível		Lâmpada piloto
M	Umidade		Média
N	Vazão molar		Baixo
O	Orifício ou restrição		Médio ou intermediário
P	Pressão	Percentual	
Q	Quantidade	Integração	
R	Remoto		Tomada de Impulso
S	Velocidade ou frequência	Velocidade/	
T	Temperatura	Chave de Segurança	Registrador
U	Multivariável		Interruptor ou Chave
V	Vibração		Transmissão
W	Peso ou força		Transmissor
X ou Y	Escolha do usuário		Multifunção
Z	Posição/ Deslocamento		Multifunção
			Cálculo feito por Computador
			Válvula
			Poço
			Solenóide/ Conversor de sinal
			Reler ou Computador
			Elemento final de controle

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003).

Cada instrumento deve se identificar com um sistema de letras, que o classifique funcionalmente e números que servem para identificar a malha de controle na qual o instrumento está inserido.

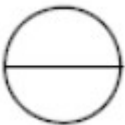
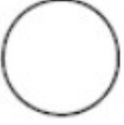
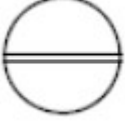
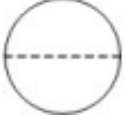
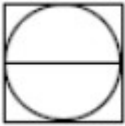
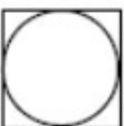
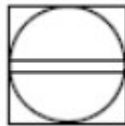
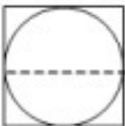
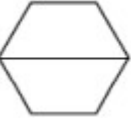

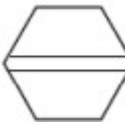
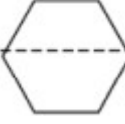



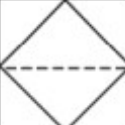
A Figura 11 mostra uma etiqueta de identificação (TAG) que deve ser utilizada na prática.

Figura 11 – Identificação funcional dos instrumentos.

T	RC	001	02	A
Variável	Função	Área de Atividade	Número Sequencial da malha	sufixo
Identificação Funcional		Identificação da malha		
Identificação do Instrumento				
T – Variável medida – Temperatura			001 – Área de atividade do instrumento	
R – Função passiva ou de informação: Registrador			02 – Número sequencial da malha	
C – Função ativa ou de saída: Controlador			A - Sufixo	











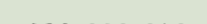

A Figura 12 mostra os sinais utilizados nos fluxogramas de processo, conforme norma ISA – S5, enquanto a Figura 13 mostra os símbolos de instrumentos utilizados nos fluxogramas de processo.

Figura 12 – Sinais utilizados nos fluxogramas de processo.

INSTRUMENTOS	PAINEL PRINCIPAL ACESSÍVEL AO OPERADOR	MONTADO NO CAMPO	PAINEL AUXILIAR ACESSÍVEL AO OPERADOR	PAINEL AUXILIAR NÃO-ACESSÍVEL AO OPERADOR
Instrumentos Discretos				
Instrumentos Compartilhados				
Computador de Processo				
Controlador Lógico Programável - CLP				

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003).

Figura 13 – Símbolos de linhas utilizadas nos fluxogramas de processo.

	Suprimento ou impulso		Sinal não-definido
	Sinal pneumático		Sinal elétrico
	Sinal hidráulico		Tubo capilar
	Sinal eletromagnético ou sônico guiado		Sinal eletromagnético ou sônico não-guiado
	Ligação por software		Ligação mecânica
	Sinal binário pneumático		Sinal binário elétrico

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003).

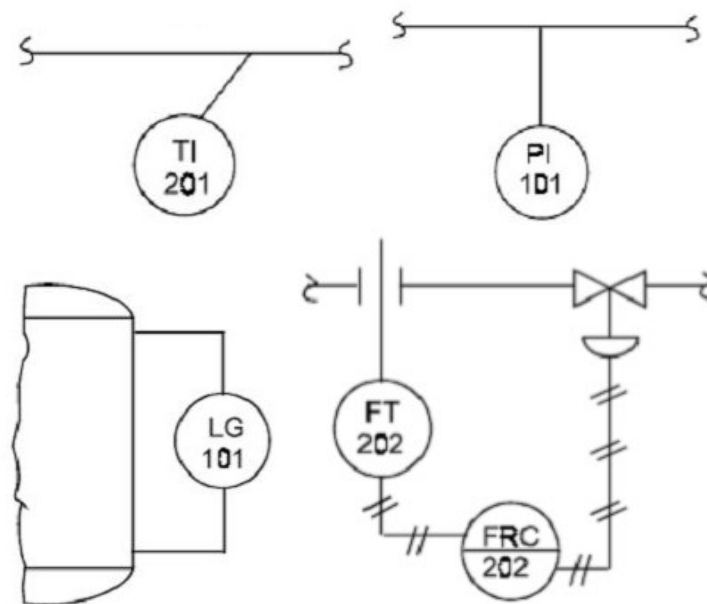
Exemplo 1 de Identificação de Instrumentos:

As normas de instrumentação estabelecem símbolos, gráficos e codificação para identificação alfanumérica de instrumentos ou funções programadas, que deverão ser utilizadas nos diagramas e malhas de controle de projetos de instrumentação. De acordo com a norma ISA-S5, cada instrumento ou função programada será identificado por um conjunto de letras que o classifica funcionalmente e um conjunto de algarismos que indica a malha à qual o instrumento ou função programada pertence. Dessa forma, identifique a função de cada instrumento abaixo especificado pelo conjunto de letras dado.

- a) FR
- b) LG
- c) TAL

Exemplo 2 de Identificação d Instrumentos:

Dado os arranjos típicos de instrumentos, retirados de uma malha de controle, identifique a função de cada instrumento conforme norma ISA S5.



Exemplo 3 de Identificação de Instrumentos:

(TÉCNICO(A) DE PROJETOS, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM JÚNIOR – INSTRUMENTAÇÃO/PETROBRAS 2012) A sequência de letras e números de uma identificação funcional, em uma malha, é selecionada de acordo com a variável controlada. Assim, um instrumento identificado por MIC21002 será um:

- (A) indicador e controlador de pressão montado na área 2100.
- (B) indicador e controlador de umidade montado na área 210.
- (C) indicador e chave de nível montado na área 21002
- (D) registrador e controlador de temperatura montado na área 21.
- (E) registrador e chave de vazão montado na área 02.

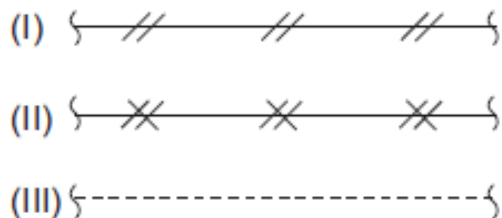
Exemplo 4 de Identificação de Instrumentos:

(TÉCNICO DE INSTRUMENTAÇÃO/PETROBRAS/2005) Ao analisar o fluxograma simplificado de tubulação e instrumentação (P&ID) de um projeto de automação e controle de um parque industrial, o técnico verificou a necessidade de incluir os seguintes instrumentos e/ou acessórios: transmissor, alarme de baixa vazão, alarme de temperatura elevada, válvula de controle de nível e transmissor e indicador de pressão diferencial. Segundo a Norma ISA S 5.1, os códigos destes instrumentos, respectivamente, são:

- (A) OAIT, VLA, THA, LCV e DPIT
- (B) OAT, FAL, THA, LCV e PDIT
- (C) OAIT, FLA, THH, LV e DPIT
- (D) AIT, VAL, TAH, LCV e DPIT

Exemplo 5 de Identificação de Instrumentos:

(TÉCNICO DE INSTRUMENTAÇÃO/PETROBRAS/2005) Observando o fluxograma simplificado de tubulação e instrumentação (P&ID) de um determinado projeto, o técnico encontrou as linhas de transmissão de sinais abaixo.



Ao procurar o tipo de informação em cada uma das linhas, na legenda, verificou que elas obedeciam à Norma ISA S 5.1. Logo, é correto afirmar que:

- (A) todos os sinais são elétricos, sendo o I analógico, o II binário e o III não definido.
- (B) os sinais I e II são hidráulicos e o III é elétrico.
- (C) os sinais I e II se referem a um sinal pneumático, o II é binário e o III se refere a um sinal elétrico.
- (D) os sinais I e II se referem a um sinal hidráulico, o II é binário, e o III se refere a um sinal elétrico.
- (E) o sinal III se refere a um sinal hidráulico e os sinais I e II a sinais elétricos, sendo o II binário.

Exemplo 6 de Identificação de Instrumentos:

(TÉCNICO(A) DE PROJETOS, CONSTRUÇÃO E MONTAGEM JÚNIOR – INSTRUMENTAÇÃO/PETROBRAS 2012)



Segundo a norma ISA 5.1, a figura ilustrada corresponde a um

- (A) computador de processo compartilhado
- (B) controlador programável acessível ao operador
- (C) registrador de vazão não acessível ao operador
- (D) sensor de vazão montado no campo
- (E) transmissor montado no campo

NORMA ISA S 5.2 – DIAGRAMAS LÓGICOS PARA OPERAÇÕES DE PROCESSO

A ISA S5.2 tem como objetivo fornecer um método de diagramação lógica de sistemas de intertravamento e sequencial binário para a partida, operação, alarme e desligamento de equipamentos e processos em indústrias de processo, fornecendo símbolos para funções binárias de operação; podendo ser aplicado em qualquer tipo de equipamento (eletrônico, pneumático, hidráulico, fluídico, mecânico, óptico, manual ou automático).

NORMA ISA S 5.3 – SÍMBOLOS GRÁFICOS PARA INSTRUMENTOS DE DISPLAY

Esta norma tem como objetivo estabelecer documentação para esta classe de instrumentação, sendo constituído por computadores, controladores programáveis e sistemas baseados em minicomputadores e microprocessadores que possuem controle compartilhado, display compartilhado e outras características de interface. Estes símbolos são fornecidos para interfacear a instrumentação de campo, sala de controle e outros equipamentos.

NORMA ISA S 5.4 – DIAGRAMA DE MALHA DE INSTRUMENTOS

O objetivo dessa norma é fornecer orientação para preparação e uso de diagramas de malha de instrumentos no projeto, construção, partida, operação, manutenção e modificação dos sistemas de instrumentação.

NORMA ISA S 5.5 – SÍMBOLOS GRÁFICOS PARA DISPLAY DE PROCESSOS

O objetivo dessa norma é estabelecer um sistema de símbolos gráficos para displays de processo que são usados por operadores de planta, engenheiros e projetistas, para monitorar e controlar processos contínuos.

TELEMETRIA, PROTOCOLO HART E FIELDBUS

TELEMETRIA

Telemetria é uma tecnologia que permite a medição e a comunicação de dados entre aparelhos, por meio de dispositivos eletrônicos e sensores, e de recursos de comunicação sem fio.

Um dos fatores que se destacam na utilização da telemetria é a possibilidade de centralizar instrumentos e controles de um determinado processo em painéis de controle ou em uma sala de controle, possibilitando consultá-los de forma fácil e rapidamente, além do operador ter uma visão conjunta do desempenho da unidade.

Por outro lado, há uma redução no número de operadores com aumento simultâneo da eficiência do trabalho. Com isso, cresce a utilidade e a eficiência dos instrumentos utilizados no processo, pois há a possibilidade de pronta consulta, manutenção e inspeção, de forma mais acessível, protegida e confortável.

Atualmente existem vários sinais de transmissão: pneumáticos, hidráulicos, elétricos, eletrônicos e digitais; presentes nos protocolos HART, Fieldbus e outros.

Transmissão Pneumática

Na transmissão pneumática a grandeza medida é convertida, por intermédio de um transmissor pneumático, em um sinal de pressão de ar comprimido, o qual é transmitido

por tubos metálicos. Em geral, os transmissores pneumáticos geram um sinal pneumático variável, linear, de 3 a 15psi (libras força por polegada ao quadrado) para uma faixa de medidas de 0 a 100% da variável. Esta faixa de transmissão foi adotada pela SAMA (Scientific Apparatur Makers Association), Associação de Fabricantes de Instrumentos, e pela maioria dos fabricantes de transmissores e controladores dos Estados Unidos.

A grande vantagem da transmissão pneumática se dá pela possibilidade de utilização em áreas onde existe o risco de explosão. A desvantagem principal é que há necessidade de tubulação de ar comprimido para seu suprimento e funcionamento; necessitando de uma unidade de condicionamento de ar para fornecer aos instrumentos um ar seco e sem partículas sólidas; limitado a 100m (sem amplificadores).

Transmissão Hidráulica

A transmissão hidráulica se utiliza da variação de pressão exercida pelos óleos hidráulicos para a transmissão de sinal. É especialmente utilizado onde o torque elevado é necessário ou quando o processo envolve pressões elevadas; sendo similar a transmissão pneumática, inclusive com desvantagens equivalentes.

A principal vantagem da utilização desse tipo de transmissão é a geração de grandes forças e assim acionar equipamentos de grandes pesos e dimensões. Como desvantagens há a necessidade de tubulação para transmissão de óleo para transmissão e suprimento, inspeção e troca periódica do óleo, equipamentos auxiliares; além de distância aplicável muito reduzida.

Transmissão Eletrônica

Neste tipo de transmissão a grandeza é medida e convertida, por meio de um transmissor eletrônico, num sinal elétrico (corrente, tensão, resistência); sendo os sinais típicos de 4 a 20 mA, 10 a 50 mA, 1 a 5 V, 0 a 10 V.

A vantagem da transmissão eletrônica é que permite transmissões para longas distâncias sem perdas, a alimentação pode ser feita pela própria fiação de transmissão (cobre flexível), é de fácil conexão e instalação. A desvantagem reside no fato de que

exige a utilização de instrumentos especiais e cuidados extras em áreas classificadas. Além disso, os cabos precisam ser protegidos contra ruídos elétricos.

Transmissão Digital

Neste tipo de transmissão “pacotes de informações” sobre a variável medida são enviados para uma estação receptora, através de sinais digitais modulados e padronizados. Para que a comunicação entre o elemento transmissor – receptor seja realizada com êxito é utilizada uma “linguagem” padrão chamado protocolo de comunicação.

A vantagem desse tipo de transmissão é que não há necessidade de ligação ponto a ponto por instrumento, é imune a ruídos externos; além de permitir configuração, diagnóstico de falhas e ajuste em qualquer ponto da malha, apresentando menor custo final. A desvantagem se dá devido a existência de vários protocolos no mercado, o que dificulta a comunicação entre equipamentos de marcas diferentes.

PROCOLO HART - Highway Addressable Remote Transducer

O Protocolo HART (Via de Dados Endereçável por Transdutor Remoto), consiste num sistema que combina o padrão 4 a 20 mA com a comunicação digital, sendo um sistema a dois fios com taxa de comunicação de 1.200 bits/s (BPS) e modulação FSK (Frequency Shift Keying). É baseado no sistema mestre/escravo, permitindo a existência de dois mestres na rede simultaneamente.

Em termos de performance, o HART destaca-se por ser um projeto simples, de fácil operação e manutenção, ser compatível com a instrumentação analógica, possui sinal analógico e comunicação digital, possui a opção de comunicação ponto-a-ponto ou multidrop, tempo de respostas de 500 ms (com até duas transações); além de apresentar compatibilidade com produtos e outros protocolos de vários fornecedores.

FILDEBUS

É um sistema de comunicação digital bidirecional, que interliga equipamentos

inteligentes de campo com o sistema de controle ou com equipamentos localizados na sala de controle, funcionando com protocolos de comunicação que transmitem informações por sinais digitais, em vez de analógicos, como o 4 - 20 mA. A tecnologia permite a transmissão de várias variáveis de entrada e saída através de um único meio, como fibra óptica, rádio ou um par de fios metálicos.

As principais vantagens do Fieldbus são: economia de fiação, pois é possível usar um par trançado em vez de cada dispositivo ter o seu próprio conjunto de fios, fácil conexão com computadores, realização mais fácil de operações matemáticas e possibilidade de que o mesmo sinal seja "lido" por mais de um instrumento. Por outro lado, há uma exigência de um par de fios para cada instrumento, necessidade de técnico especializado para instalação e manutenção, exigência de cuidados especiais em áreas de risco; além da necessidade de proteção contra ruídos elétricos.

CAPÍTULO 2

MEDIÇÃO DE PRESSÃO

DEFINIÇÃO

A medição e controle da pressão são fundamentais em diversos setores da indústria e da ciência, desempenhando um papel essencial no funcionamento seguro e eficiente de muitos processos e sistemas. A pressão, definida como a força exercida por uma substância em uma determinada área, é uma grandeza física.

O acompanhamento preciso da pressão é crucial para garantir o desempenho adequado de sistemas complexos, como máquinas industriais. Através da medição precisa é possível monitorar e controlar a pressão em tempo real, o que permite ajustes e intervenções quando necessário, evitando falhas ou danos.

TIPOS DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO

MEDIÇÃO DE PRESSÃO ABSOLUTA

A medição de pressão absoluta é um procedimento que envolve a determinação da pressão em relação a um vácuo perfeito, desconsiderando a pressão atmosférica como referência. É um tipo de medição amplamente utilizado em diversas áreas, como engenharia, indústria, pesquisa científica e aplicações aeroespaciais.

A medição precisa da pressão absoluta é essencial em muitos processos e aplicações. Ela permite monitorar e controlar com precisão a pressão em sistemas fechados, garantindo seu funcionamento adequado, a segurança e a qualidade dos produtos e serviços oferecidos. A medição de pressão absoluta é particularmente importante em situações em que a pressão atmosférica varia significativamente.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO MANOMÉTRICA

A medição de pressão manométrica é um procedimento utilizado para medir a pressão em relação à pressão atmosférica local. É um tipo de medição comumente

empregado em sistemas fechados ou pressurizados, onde a referência de pressão é a pressão atmosférica local.

É importante ressaltar que a medição de pressão manométrica não leva em consideração a variação da pressão atmosférica em diferentes locais ou altitudes. Portanto, é necessário calibrar os dispositivos de medição de pressão manométrica em relação à pressão atmosférica local para obter resultados precisos.

É amplamente utilizada em diversas aplicações industriais, permitindo o controle e monitoramento preciso da pressão em sistemas fechados. A escolha do método de medição e do dispositivo adequado depende das necessidades específicas da aplicação e das características do sistema em questão.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO DIFERENCIAL

A medição de pressão diferencial é uma técnica utilizada para determinar a diferença de pressão entre dois pontos em um sistema, sendo representada pelo símbolo ΔP (delta P). É amplamente empregada em diversas áreas, incluindo engenharia, processos industriais, HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), automação e controle, dentre outras. Essa diferença de pressão pode ser causada por diversos fatores, como fluxo de fluidos, restrições em tubulações, obstruções, filtros, entre outros.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO RELATIVA

É a pressão medida em relação à pressão atmosférica, tomada como unidade de referência. Na indústria, ao se medir um valor de pressão deve-se determinar se ela é relativa ou absoluta, caso contrário será considerado como medição de pressão relativa.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO ESTÁTICA

É a pressão exercida por um fluido em repouso ou que estejam fluindo perpendicularmente à tomada de impulso, por unidade de área exercida.

MEDIÇÃO DE PRESSÃO DINÂMICA

É a pressão exercida por um fluido em movimento, ocasionada pela velocidade do escoamento. É medida fazendo-se a tomada de impulso de tal maneira que receba o impacto do fluido.

A Figura 1 mostra o Diagrama de Escalas apresentando os tipos de medição de pressão.

Figura 1 – Diagrama de Escalas de Medição de Pressão.

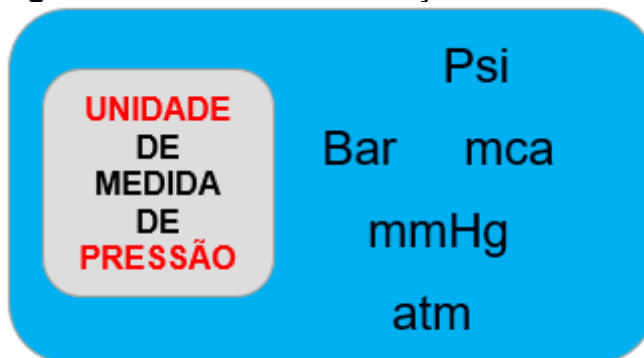


UNIDADES DE PRESSÃO

No Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade de Pressão é o Newton por metro quadrado (N/m^2), também denominado Pascal (Pa); unidade esta adotada também pelo INMETRO.

A Figura 2 mostra as principais unidades de medição de pressão e a Figura 3 o quadro de conversão de unidades.

Figura 2 – Unidades de medição de Pressão.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 – Quadro de Conversão de unidades de pressão.

	Psi	Bar	mmHg	mca	atm
Psi	1,0000	0,0689	51,7150	705,1500	0,0680
Bar	14,5040	1,0000	750,0600	10215,0000	0,9869
mmHg	0,0193	0,0013	1,0000	13,6200	0,0013
mca	0,0014	0,0001	0,0734	1,0000	0,0970
atm	14,6900	1,0132	760,0000	10,3300	1,0000

Fonte: Elaborado pelos autores.

DISPOSITIVOS DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO

TUBO DE BOURDON

O tubo de Bourdon é um dispositivo mecânico utilizado para medir a pressão. Foi inventado pelo engenheiro francês Eugène Bourdon no século XIX e é utilizado até os dias de hoje.

São os dispositivos de medição de pressão mais comuns e amplamente utilizados. Consistem em um tubo metálico curvo (forma de C, espiral ou helicoidal), que se expande quando a pressão é aplicada. A extremidade livre do tubo está conectada a um ponteiro por meio de um mecanismo interno, que converte o movimento do tubo em uma leitura no mostrador. A Figura 4 mostra os tipos de Bourdon.

Figura 4 – Tipos de Tubo de Bourdon.

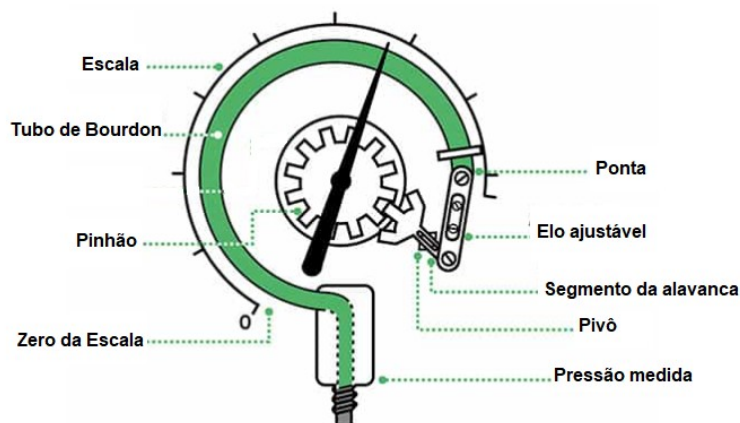


Fonte: Tipo C - Adaptado de Embarcados (2016), Tipo Espiral: Maragna.com.br e Tipo Hélice – <https://patriciomamba.blogspot.com/2011/05/tubo-de-bourdon.html>.

O tubo de Bourdon é amplamente utilizado em indústrias como petróleo e gás, química, farmacêutica, alimentos e bebidas, energia, dentre outras. Pode ser encontrado em medidores de pressão de diferentes tamanhos e faixas de medição, desde pequenos instrumentos portáteis até medidores de grande escala em plantas industriais.

Os manômetros de Bourdon tipo C, mostrado na Figura 5, são os mais utilizados até hoje na indústria devido ao seu baixo custo e a boa precisão. É um instrumento de medição de pressão para leituras locais, possuindo uma conexão com o sistema e um ponteiro (quando mecânico) ou display (quando eletrônico).

Figura 5 – Manômetro tipo C.



Fonte: Adaptado de Compraco.com.br.

COLUNA DE LÍQUIDO

A coluna de líquido é um conceito relacionado à medição da pressão em fluidos. Refere-se à altura de um líquido que é sustentada em um tubo vertical ou sistema fechado, devido à pressão exercida pelo próprio líquido ou por algum agente externo.

A altura é proporcional à pressão exercida sobre ela. Esse princípio é conhecido como a Lei de Stevin, também chamada de princípio dos vasos comunicantes. A pressão em um ponto de um fluido em equilíbrio é a mesma em todas as direções e em qualquer profundidade.

Um exemplo comum de coluna de líquido é o tubo em forma de U, em que um líquido, como água ou mercúrio, é preenchido até certa altura em ambos os braços do tubo. A Figura 6 mostra esse dispositivo.

Figura 6 – Coluna de líquido.



Fonte: Adaptado de www.salcas.com.br.

PRINCIPAIS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE PRESSÃO

MANÔMETROS

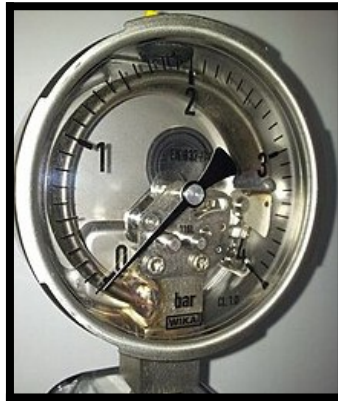
Manômetros são dispositivos de medição utilizados para determinar a pressão em fluidos, sejam eles líquidos ou gases. Eles são amplamente utilizados em diversos setores, desde indústrias até aplicações domésticas, para monitorar e controlar a pressão em sistemas e processos.

Existem vários tipos de manômetros, cada um adequado para diferentes faixas de pressão, tipos de fluidos e aplicações específicas.

Manômetros de tubo de Bourdon

Os manômetros de tubo de Bourdon utilizam o princípio do tubo de Bourdon para medir a pressão. Eles possuem um tubo curvado em forma de C ou de espiral que se deforma quando a pressão é aplicada, movendo um ponteiro indicador sobre uma escala para fornecer a leitura da pressão. A Figura 7 mostra o manômetro de Bourdon tipo C com vidro transparente para mostrar seus elementos constituintes.

Figura 7 – Manômetro de Bourdon tipo C.



Fonte: www.wikipedia.org.

Manômetros de diafragma

Esses manômetros utilizam um diafragma flexível para medir a pressão. O diafragma se deforma quando a pressão é aplicada, e essa deformação é convertida em movimento do ponteiro indicador. A Figura 8 mostra o manômetro do tipo diafragma.

Figura 8 – Manômetro e diafragmas.

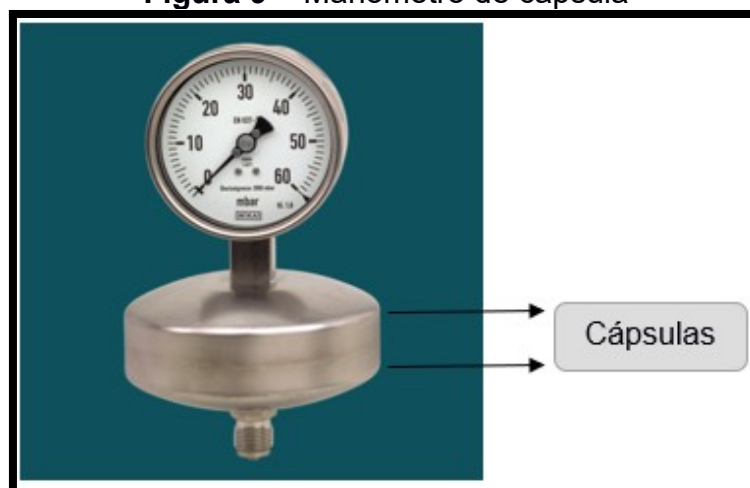


Fonte: Adaptado de blog.wika.com.br.

Manômetros de Cápsula

Semelhantes aos manômetros de diafragma, os de cápsula utilizam duas cápsulas flexíveis conectadas, que se deformam sob a pressão e movimentam o ponteiro indicador. A Figura 9 mostra este tipo de manômetro.

Figura 9 – Manômetro de cápsula

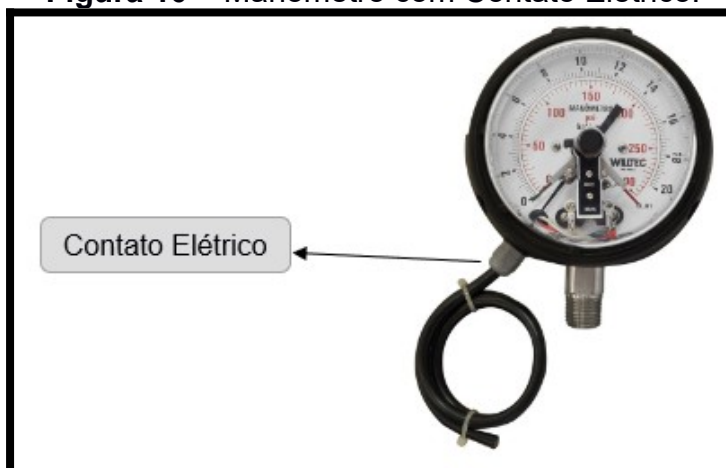


Fonte: Adaptado de blog.wika.com.br.

Manômetro com Contato Elétrico

São utilizados para medir e controlar pressões. O contato elétrico liga ou desliga um circuito elétrico na pressão ajustada ou com contato elétrico duplo fazendo a função de pressostato. A Figura 10 mostra este tipo de manômetro.

Figura 10 – Manômetro com Contato Elétrico.



Fonte: Adaptado de willtec.com.br.

Manômetro com Ponteiro de Arraste

São utilizados em equipamentos onde haja variações rápidas da pressão, impossibilitando o operador de observar qual a pressão máxima atingida.

O ponteiro é arrastado para cima pelo ponteiro indicador, permanecendo no ponto máximo mesmo quando o ponteiro indicador retornar para a posição mais baixa. A Figura 11 mostra este tipo de manômetro.

Figura 11 – Manômetro com Ponteiro de Arraste.



Fonte: Adaptado de willtec.com.br.

Manômetros de Pressão Diferencial

Esses manômetros são usados para medir a diferença de pressão entre dois pontos em um sistema. Eles possuem duas conexões para os pontos de pressão e medem a diferença entre as duas pressões. A Figura 12 mostra este instrumento.

Figura 12 – Manômetro de Pressão Diferencial



Fonte: Adaptado de www.temperuniao.com.br.

MEDIDOR DE PRESSÃO TIPO CAPACITIVO

O funcionamento desse tipo de dispositivo é baseado nas variações capacitivas que ocorrem quando a distância entre duas placas condutoras é alterada.

Em um sensor capacitivo geralmente são utilizadas duas placas condutoras paralelas: uma é a placa de medição e a outra é a placa de referência. Quando uma tensão é aplicada entre essas duas placas, forma-se uma distância entre elas. A capacitância resultante é diretamente proporcional à área das placas e inversamente proporcional à distância entre elas.

Quando a grandeza física que está sendo medida causa uma mudança na distância entre as placas, a capacitância varia. Essa variação capacitiva é então convertida em um sinal elétrico proporcional à grandeza medida, através de circuitos eletrônicos associados ao sensor.

No caso de um sensor de pressão capacitivo, a deformação mecânica causada pela pressão aplicada ao sensor pode alterar a distância entre as placas condutoras. Isso

resulta em uma mudança na capacitância do sensor, que pode ser detectada e convertida em um sinal de saída correspondente à pressão.

Os sensores capacitivos oferecem várias vantagens como alta precisão, resposta rápida, boa linearidade e imunidade a interferências eletromagnéticas. Eles são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações, incluindo automotiva, automação industrial, instrumentação médica, dispositivos de interface homem-máquina e muitos outros. A Figura 13 mostra esse medidor de pressão.

Figura 13 – Manômetro do tipo Capacitivo.



Fonte: Adaptado de www.silverinstruments.com.br.

STRAIN GAUGE

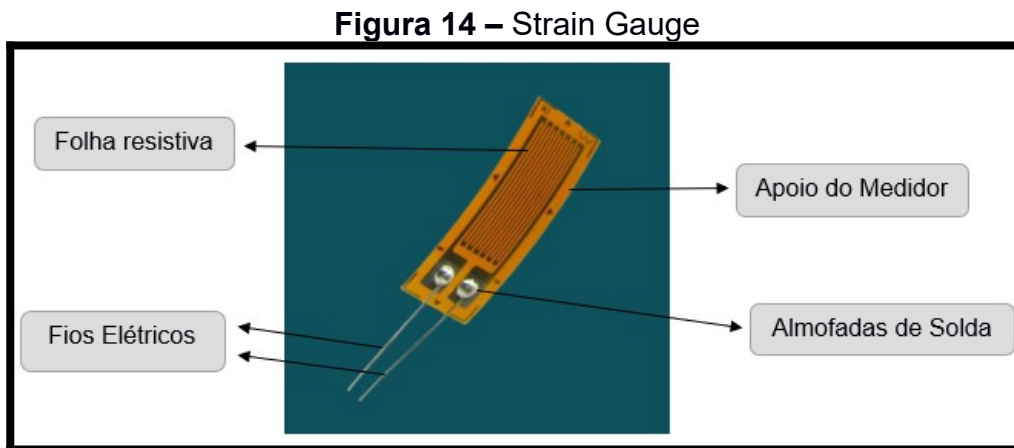
O Strain Gauge, também conhecido como extensômetro ou medidor de deformação, é um dispositivo utilizado para medir deformações ou variações na tensão mecânica em estruturas ou componentes. É uma das tecnologias mais comuns e versáteis para a medição de deformação em aplicações na engenharia.

O princípio de funcionamento dele baseia-se nas propriedades elétricas dos materiais. O extensômetro consiste em um fio ou uma fina película metálica, geralmente de metal resistivo, que é colado ou fixado à superfície da estrutura que será medida.

Quando a estrutura é submetida a uma força ou deformação, ocorre uma mudança na resistência elétrica do Strain Gauge. Essa variação é proporcional à deformação

experimentada pela estrutura, de acordo com o princípio de Lei de Ohm e o efeito piezoelétrico.

Os Strain Gauge são utilizados em uma ampla variedade de aplicações, incluindo testes de materiais, monitoramento estrutural, análise de tensões em componentes mecânicos, ensaios não destrutivos, desenvolvimento de produtos e pesquisa científica. A Figura 14 mostra esse dispositivo.



Fonte: Adaptado de www.autocorerobotica.com.br.

TIPO PIEZOELÉTRICO

O tipo piezoelétrico é um método de transdução que se baseia nas propriedades piezoelétricas de certos materiais para converter energia mecânica em energia elétrica ou vice-versa. Esses materiais exibem uma resposta elétrica quando são submetidos a tensões mecânicas ou deformações.

A propriedade dele é observada em diversos materiais, sendo os mais comuns o quartzo, o titanato de bário e alguns cristais ferroelétricos. Quando esses materiais são submetidos a uma tensão mecânica, as cargas elétricas positivas e negativas são separadas dentro da estrutura cristalina, resultando em um campo elétrico. Da mesma forma, quando um campo elétrico é aplicado ao material, ocorre uma deformação mecânica.

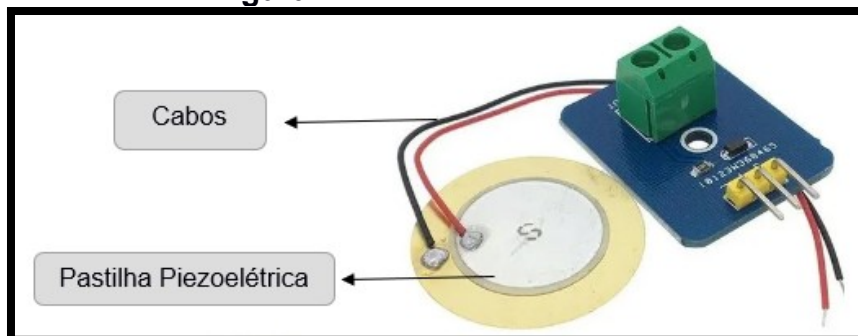
O efeito piezoelétrico é um fenômeno reversível. Se for conectado a um potencial elétrico, resultará em uma correspondente alteração da forma cristalina. Este efeito é altamente estável e exato, sendo por isso utilizado em relógios de precisão.

Os sensores piezoelétricos têm algumas vantagens, como alta sensibilidade, resposta rápida, cerca de microssegundos, não precisa de fonte externa, fácil de usar,

pequeno e pode ser usado para medir pressões no intervalo de 0,7 kPa a 70 Mpa, alta faixa de frequência e robustez, pode medir pressões dinâmicas, tensão de compressão e tração.

São amplamente utilizados em aplicações como monitoramento estrutural, testes não destrutivos, dispositivos médicos, sensores de vibração, acelerômetros e até mesmo em sistemas de ignição de motores. A Figura 15 mostra o sensor piezoelétrico.

Figura 7 – Sensor Piezoelétrico



Fonte: Adaptado de www.baudaeletronica.com.br.

CAPÍTULO 3

MEDIÇÃO DE VAZÃO

DEFINIÇÃO

Vazão é definida como sendo a quantidade de fluido (líquido, gás ou vapor) que passa por uma seção reta de duto ou canal, durante um intervalo de tempo. A unidade de medida de vazão é a razão entre a unidade de volume ou massa pela unidade de tempo. A vazão é expressa pela equação (1) – Vazão Volumétrica e (2) – Vazão Gravimétrica:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão
V = volume
t = tempo

A vazão volumétrica seria a quantidade de volume de um fluido que escoar por um duto durante um certo intervalo de tempo.

$$Q = \frac{M}{t} \quad (2)$$

Onde: Q = vazão
M = massa
t = tempo

A vazão gravimétrica seria a quantidade de massa de um fluido que escoar por um duto durante um certo intervalo de tempo.

PRINCIPAIS UNIDADES DE VAZÃO

No Quadro 1 temos principais unidades de vazão volumétrica e no Quadro 2 as de vazão gravimétrica.

Quadro 1– Unidades de medidas de vazão volumétrica.

Vazão na Relação de Volume e Tempo	
Litro por Hora	L/h
Metro ³ por Min	m^3/min
Centimetro por Segundo	cm^3/s
Galão por Minuto	gpm
Pé por Hora	ft^3/h

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2 – Unidades de medidas de vazão gravimétrica.

Vazão na Relação de Massa e Tempo	
Quilo por Hora	kg/h
Gramma por Segundo	g/s
Libra por Minuto	lb/min
Tonelada por Minuto	t/min

Fonte: Elaborado pelos autores.

MEDIDORES DE VAZÃO

Os medidores de vazão são de grande importância para o meio industrial, pois seu uso permite o controle da quantidade de material ou fluido gasto, garantindo um aumento na produção, com a otimização do processo, melhoria na qualidade e na segurança durante todo o processo produtivo.

Através da medição de vazão pode-se também medir a quantidade de produto vendido. Sendo assim, a vazão se faz presente em todas as etapas do processo produtivo; desde a produção, transporte, distribuição e até sua aplicação ou utilização.

A seleção do instrumento de medição de vazão se dá através de uma análise de engenharia do processo, em que são avaliados o tipo de fluido a ser utilizado, a precisão da medição necessária para um determinado processo e, principalmente, o custo-benefício que o instrumento pode propiciar. Para um melhor entendimento dessa seleção é necessário conhecer os instrumentos de medição de vazão e suas aplicabilidades, bem como da precisão exigida pelo processo.

CLASSIFICAÇÃO DOS MEDIDORES DE VAZÃO

Medidores Indiretos do Fluxo

Os medidores de vazão indiretos são instrumentos que utilizam de propriedades da mecânica dos fluidos para medir a vazão de forma indireta, isto é, utilizam de medição da diferença de pressão para determinar o fluxo de fluido em uma seção de um tubo. Podem ser subdivididos em: medidores de perda de carga variável (área de passagem constante) e medidores de área variável (perda de carga constante).

Os principais medidores de fluxo indireto de perda de carga variável presentes no mercado são: Tubo Pitot, Tubo de Venturi, Annubar, Tudo de Dall e Placa de Orifício; enquanto o de área variável temos o Rotâmetro.

Medidores Diretos do Fluxo

Os medidores de vazão direta são medidores que determinam a quantidade de fluxo de um fluido em uma seção transversal de tubo de forma direta. Eles fornecem uma leitura direta e instantânea da quantidade de fluido, sem a necessidade de cálculos ou estimativas adicionais. São subdivididos em: medidores diretos de deslocamento positivo do fluido, tais como Disco Nutante, Pistão Flutuante, Rodas Ovais e Roots; medidores diretos de velocidade pelo impacto do fluido, como o Tipo Hélice e o Tipo Turbina.

Medidores Especiais de Vazão

Os medidores especiais de vazão são dispositivos de medição de fluxo que são projetados para atender a requisitos específicos e aplicações particulares. Eles podem ser usados quando os medidores de fluxo controlado não são adequados devido a condições de operação complicadas, necessidades particulares de medição ou requisitos específicos do processo.

A escolha do medidor de vazão especial dependerá das características do fluido, das condições de operação e das necessidades específicas de cada aplicação. Alguns exemplos de medidores especiais são: Tipo Eletromagnético, Vórtex, Ultrassônico, Calhas Parshall, e Coriolis.

PRINCIPAIS INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

Placa de Orifício

A placa de orifício é um dispositivo amplamente utilizado na medição de vazão de fluidos em sistemas de tubulações industriais. Consiste em uma placa com um orifício central perfurado, colocado perpendicularmente ao fluxo do fluido. Quando o fluido passa pela placa de orifício, ocorre uma diminuição na área de seção transversal, causando um aumento na velocidade e uma diminuição temporária da pressão.

A placa de orifício opera com base no princípio de Bernoulli e na equação de continuidade, que estabelecem uma relação entre a velocidade do fluido, a pressão e a área da seção transversal. A diferença de pressão entre a montante (antes do orifício) e justa (após o orifício) é proporcional à vazão do fluido. A Figura 1 mostra uma placa de orifício.

Figura 1 – Placa de Orifício.

Fonte: Shutterstock (2023).

A placa de orifício é comumente usada em aplicações industriais devido à sua simplicidade, custo relativamente baixo e precisão aceitável em uma ampla variedade de fluidos. No entanto, é importante observar que a perda de pressão gerada pelo dispositivo pode afetar a eficiência do sistema, especialmente em casos de fluidos viscosos ou com partículas sólidas.

Medidor de vazão de área variável (rotâmetro)

O medidor de vazão do tipo rotâmetro é um dispositivo que utiliza a variação de área como princípio para obter a medida de vazão. O rotâmetro é construído como um tubo em formato cônico onde a parte inferior tem menor área e a parte superior tem maior área, dentro desse tubo é colocado um dispositivo chamado de flutuador, que se desloca pela seção de tubo de acordo com a relação de empuxo e pressão hidrodinâmica do fluido em relação ao seu peso.

O rotâmetro possui uma escala indicando a vazão do fluido de acordo com a posição do flutuador, com isso percebe-se que a seleção do flutuador e a relação de construção da escala de vazão é determinada pela densidade do fluido. Eles são adequados para medições de vazão em baixas pressões e em fluidos limpos, sem partículas sólidas ou viscosas. A Figura 2 mostra um rotâmetro.

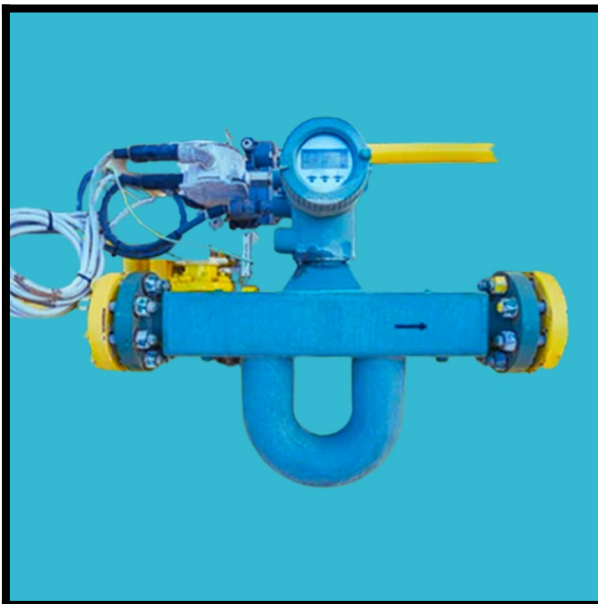
Figura 2 – Rotâmetro.

Fonte: Adaptada de Shutterstock (2023).

Este tipo de medidor pode ser encontrado atuando na indústria química, alimentícia, farmacêutica, petroquímica e também em laboratórios. Essa diversidade se dá devido ao seu baixo custo de compra e de manutenção, sendo necessário apenas vistorias periódicas para verificar o desgaste das peças, fazer a limpeza do equipamento e a calibração da escala com o auxílio de outro medidor de vazão padrão.

Medidor de Vazão Mássica Coriolis

O medidor de vazão mássica por efeito Coriolis é um tipo de medidor de vazão que utiliza do princípio do efeito Coriolis para medir diretamente a massa do fluido que passa pela seção de tubo. Esse tipo de medidor costuma ter um custo mais elevado devido a sua boa precisão e por apresentar a medição de densidade, temperatura e vazão volumétrica junto a medição de vazão mássica do fluido, sendo assim é um medidor de simples funcionamento, mas bem completo e preciso. A Figura 3 mostra um medidor de vazão mássica do tipo Coriolis.

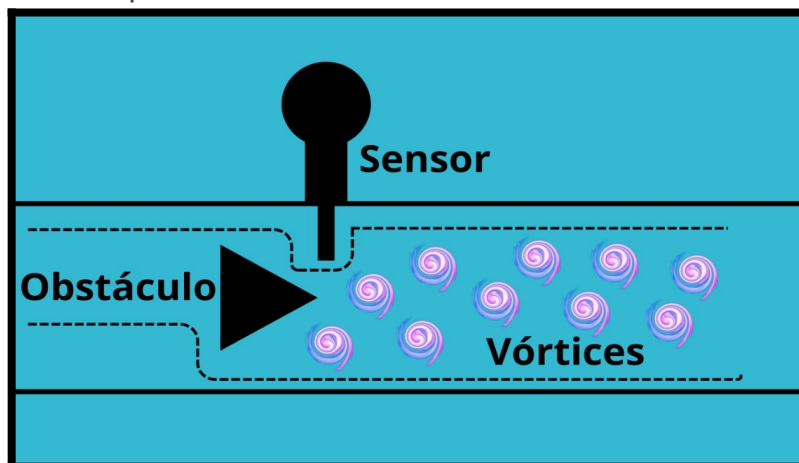
Figura 3 – Medidor de vazão mássica Coriolis.

Fonte: Adaptado de Shutterstock (2023).

O medidor de vazão Coriolis geralmente é formado por dois tubos, onde o equipamento faz com que os tubos vibrem durante a passagem do fluido, e através dessa vibração os sensores captam a frequência de cada tubo, para que seja calculada a vazão mássica por meio da diferença de frequência de cada tubo utilizando o princípio de Coriolis. A grande vantagem de utilização deste medidor é que ele não sofre interferência pela mudança de propriedade do fluido, seja viscosidade, densidade ou temperatura.

Medidor de vazão vórtex

O medidor de vazão tipo vórtex tem o seu princípio de funcionamento baseado na teoria de vórtices de Von Karman. No interior do tubo do instrumento há um obstáculo plano, onde a passagem do fluido ocasiona a formação de um rastro de vórtices. A Figura 4 mostra o esquema de funcionamento do medidor de vazão do tipo Vórtex.

Figura 4 – Esquema de funcionamento do Medidor de vazão Vórtex.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A frequência (f) desse rastro de vórtices é proporcional à velocidade (v) do fluido em movimento. O número adimensional de Strouhal (S) descreve a relação entre a frequência do rastro de vórtices (f), a largura do obstáculo (b) e a velocidade média do fluxo (v).

$$f = \frac{S \cdot v}{b}$$

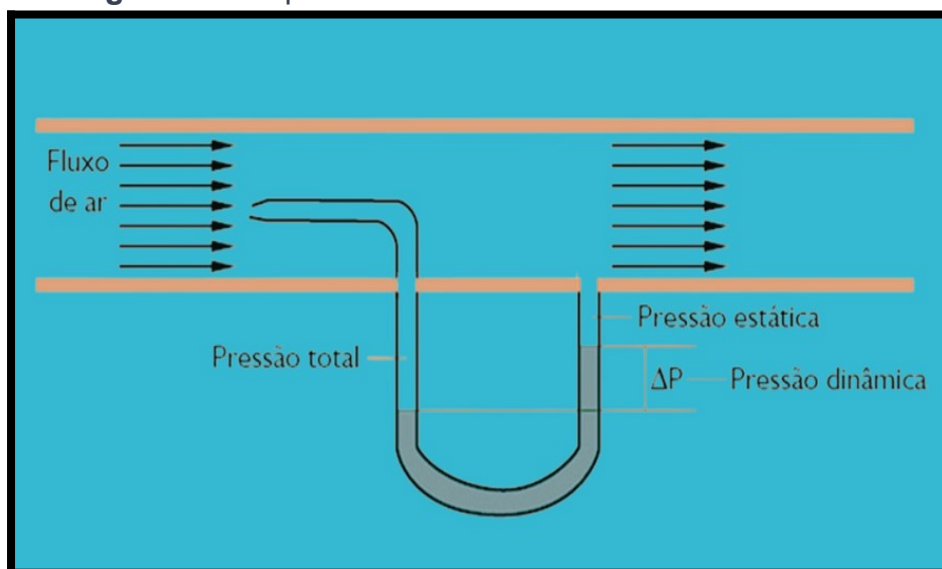
Essa relação permite determinar a vazão do fluido com base nas medições da frequência e demais parâmetros do sistema. O medidor de vazão tipo vórtex é amplamente utilizado em diversas indústrias devido à sua simplicidade, confiabilidade e capacidade de medição precisa do fluxo de fluidos.

Tubo de Pitot

O tubo de pitot é um instrumento de medição indireta de vazão, pois utiliza do princípio de medição de vazão por pressão diferencial. Seu funcionamento baseia-se na pressão dinâmica gerada quando o fluido em movimento penetra em seu tubo, o que resulta na medição da velocidade do fluxo. O dispositivo possui duas pressões distintas, uma medida na extremidade do equipamento, que é a pressão estática, e outra no lado oposto, resultante da penetração do fluido no tubo.

A Figura 5 mostra o esquema de funcionamento do Tubo de Pitot.

Figura 5 – Esquema de funcionamento do Tubo de Pitot.



Fonte: Adaptado do Instituto Metr pole Digital (IMD) (2023).

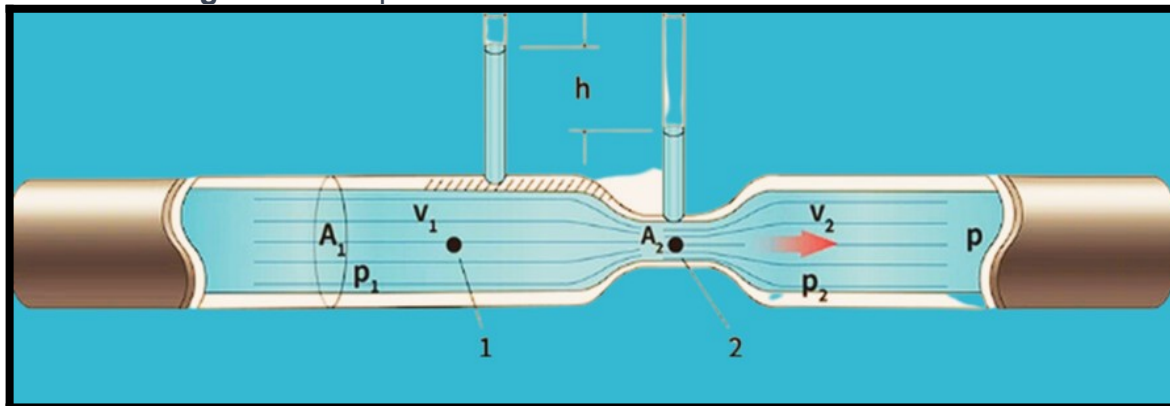
Este tipo de medidor é comumente empregado em aeronaves como um medidor de pressão atmosférica, conectado aos indicadores de velocidade do ar e vertical, fornecendo informa es cruciais durante a subida e descida da aeronave. A instala o do Tubo Pitot é feita de forma contrária   dire o da pressão do duto. Normalmente, na medi o de vazão de fluidos, o tubo de Pitot é acoplado a um transmissor diferencial de pressão que fornecer  um sinal (referente à diferença de pressão) a partir do qual se calcula a vazão, o tubo deve estar totalmente preenchido e   desejável que não haja sólidos em suspensão podendo causar entupimentos, o que pode gerar custos com constantes manuten es.

Tubo de Venturi

O Tubo de Venturi é um medidor de vazão indireto que também utiliza do princípio de pressão diferencial para obter essa medida. Seu funcionamento se d  por meio do estreitamento do tubo, o que aumenta a velocidade do fluido e conseqüentemente diminui a pressão est tica, essa diferença de pressão   medida pela diferença de nível nos tubos perpendiculares ao Tubo de Venturi. O cálculo da velocidade e da vazão do fluido é obtido por meio da Equa o de Bernoulli.

A Figura 6 mostra o esquema de funcionamento do Tubo de Venturi.

Figura 6 – Esquema de funcionamento do Tubo de Venturi.



Fonte: Adaptado de Shutterstock (2023).

Os tubos de Venturi são amplamente utilizados em diversas indústrias onde a medição precisa e confiável da vazão de fluidos é fundamental para o funcionamento eficiente dos processos. Sua aplicação é vista em setores como a indústria de água e esgoto, indústria química e petroquímica e entre outras.

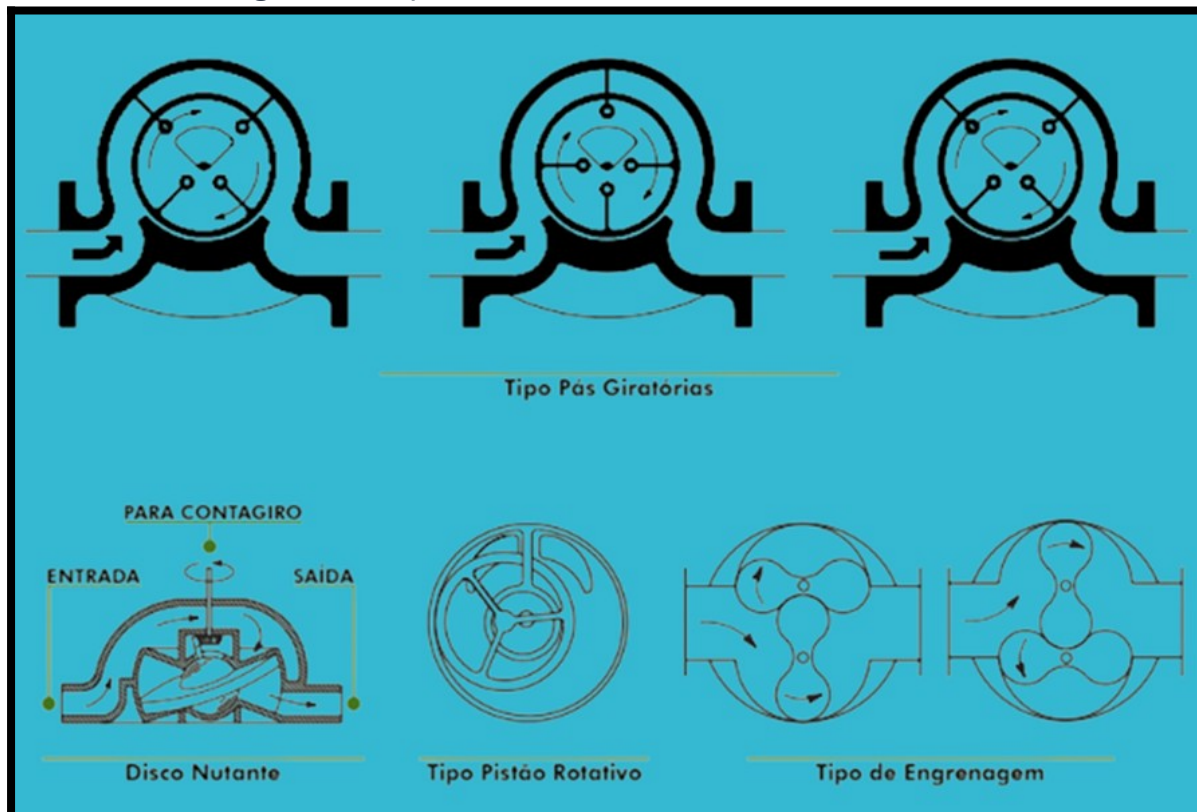
Isso ocorre devido à capacidade dos tubos de Venturi de fornecer medições de vazão precisas em uma variedade de fluidos, incluindo líquidos com sólidos em suspensão, corrosivos, viscosos e inflamáveis. Além disso, sua construção robusta, baixa perda de carga e relativa facilidade de manutenção fazem dos tubos de Venturi uma escolha confiável para sistemas que atendem demandas de controle precisas, garantido para o controle eficaz de processos e otimização do desempenho industrial.

Medidores de Quantidade Volumétrica

Os medidores de quantidades volumétricas são dispositivos de medição que trabalham de maneira que quando o fluido passa pelo equipamento de medição, um dispositivo de indicação é acionado. Esses medidores podem ser encontrados como elementos primários em bombas de gasolina e em hidrômetros, por exemplo.

A Figura 7 mostra os tipos de medidores de vazão volumétrica.

Figura 7 – Tipos de Medidores de Vazão Volumétrica.



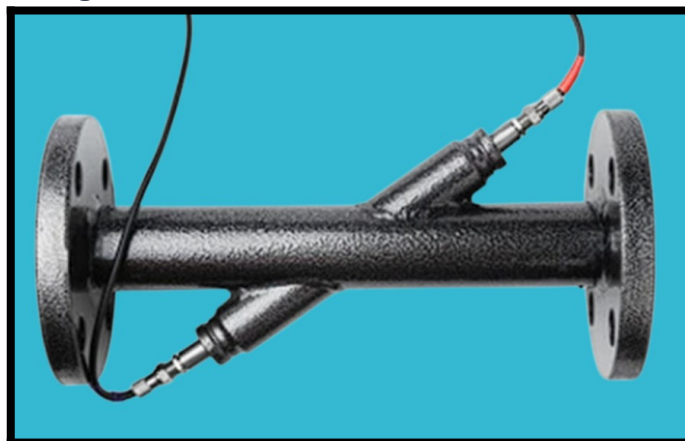
Fonte: Adaptado de Monitoramento e Controle de Processos (2023).

Medidor de Vazão Ultrassônico

O medidor de vazão ultrassônico pode ser encontrado no mercado utilizando dois tipos de princípios de funcionamento: por Efeito Doppler ou pelo tempo de trânsito. No primeiro, o medidor funciona por meio de um equipamento transdutor que emite um feixe ultrassônico, pois de acordo com o físico e matemático austríaco Christian Johan Doppler, as frequências das ondas sonoras recebidas por um observador dependem do movimento da fonte ou do observador em relação à fonte do som, desta maneira o medidor mede a alteração da frequência deste feixe tendo em vista que a frequência é diretamente proporcional a vazão.

Já no segundo princípio, pelo tempo de trânsito, o medidor mede a vazão por meio da diferença de tempo que o feixe ultrassônico leva para atravessar o tubo de um transdutor para o outro, no sentido do fluxo e contra o fluxo do fluido, sendo este tempo inversamente proporcional a vazão.

A Figura 8 mostra o medidor de vazão do tipo ultrassônico.

Figura 8 – Medidor de vazão Ultrassônico.

Fonte: Adaptado de Shutterstock (2023).

Esse medidor apresenta em suas principais vantagens, não causar perda de carga, ser capaz de medir fluido líquido ou gasoso, podendo não necessariamente exigir o rompimento da encanação para instalação do mesmo, não causa perturbação ao fluxo, evitando desgaste por cavitação por exemplo, e pode ser aplicado para medição de vazão em diversas indústrias, apresentando um plano de manutenção simples, indicado pelo fabricante, em geral, limpeza, calibração e vistoria geral das peças e funcionamento do equipamento.

Medidor de Vazão Eletromagnético

O medidor de vazão eletromagnético é um dispositivo que funciona com base em propriedades de indução eletromagnética. O seu uso só é possível para fluidos eletricamente condutores, entretanto este medidor apresenta diversas vantagens para ser utilizado.

Nele a perda de carga é equivalente à de um trecho reto de tubulação, não há influência da densidade ou viscosidade do fluido no resultado de medição, apresenta uma ampla faixa de medição, desde vazões mais baixas a mais altas. Além disso, o medidor de vazão eletromagnético é não intrusivo, ou seja, não entra em contato com o fluido, o que permite que seja utilizado para medir a vazão de produtos químicos altamente corrosivos, fluidos com sólidos em suspensão, líquidos corrosivos, abrasivos e viscosos.

A Figura 9 mostra o medidor de vazão do tipo Eletromagnético.

Figura 9 – Medidor de vazão Eletromagnético.

Fonte: Adaptado de Termotroc (2023).

Este medidor apresenta um baixo custo de manutenção, e geralmente se instalado corretamente e feita a manutenção adequadamente costuma ter um uso confiável. O medidor de vazão eletromagnético é bastante utilizado para estruturas de saneamento, água, indústria química, farmacêutica e de alimentos, sendo utilizado para monitorar e controlar o fluxo de líquidos condutivos em sistemas de distribuição e processos industriais.

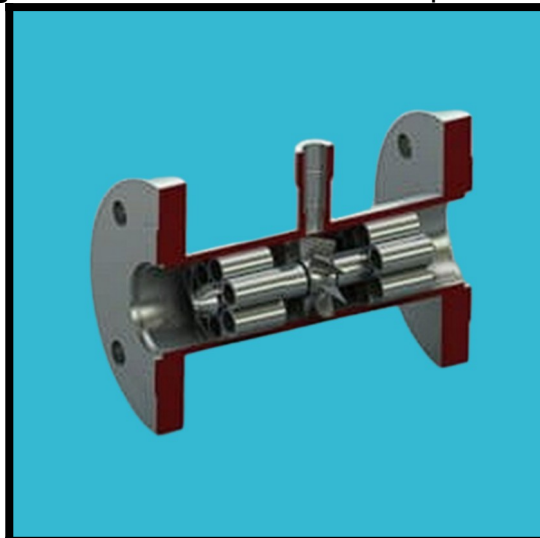
Medidor de Vazão Tipo Turbina

O medidor de vazão tipo turbina é um equipamento amplamente empregado na medição de fluxo de fluidos, incluindo líquidos e gases, em ambientes industriais. O princípio de funcionamento desse medidor baseia-se na rotação de uma turbina inserida no fluxo do fluido.

Essa turbina é equipada com pás ou lâminas projetadas para girar conforme o fluido flui através delas. À medida que o fluido passa pelas pás da turbina, elas são impulsionadas a girar, e a taxa de rotação está diretamente relacionada à velocidade do fluxo. Essa velocidade, por sua vez, corresponde à vazão do fluido. Os medidores de

vazão tipo turbina normalmente incorporam um sensor que monitora a rotação da turbina e converte esses movimentos em medida de vazão.

Figura 10 – Medidor de vazão Tipo Turbina.



Fonte: Adaptado de Metri Measurements (2023).

Devido à sua notável precisão e confiabilidade na medição de vazão, esse tipo de medidor é frequentemente aplicado em cenários que exigem especificações rigorosas do fluxo, como sistemas de controle de processos industriais, avaliação de consumo de fluidos em plantas de produção e distribuição de líquidos, além do monitoramento em fluxos químicos, petroquímicos e setores alimentícios. Entretanto, é importante ressaltar que esses medidores podem ser afetados por variações na transferência do fluido e pela presença de partículas sólidas em suspensão, o que pode impactar seu desempenho. Dessa forma, a seleção adequada do medidor de vazão tipo turbina deve considerar minuciosamente as características específicas do fluido e as condições operacionais do sistema em questão.

CAPÍTULO 4

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

CONCEITO

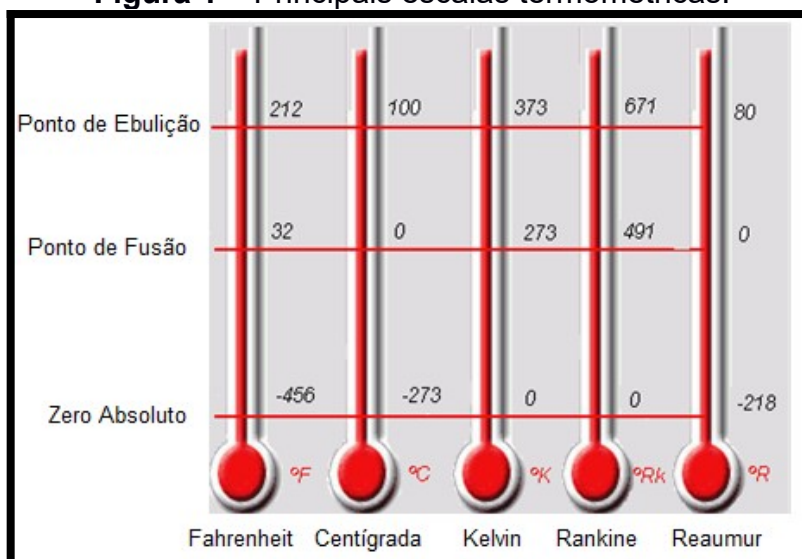
A medição e controle de temperatura são operações vitais que garantem a eficiência, segurança e qualidade nos processos de produção. O controle preciso da temperatura pode ser o fator determinante entre a obtenção de um produto de alta qualidade e a falha total de um processo. Desde o tratamento térmico de metais até a pasteurização de alimentos e bebidas, a temperatura desempenha um papel crítico em quase todas as facetas da indústria.

TEMPERATURA E CALOR

A temperatura é uma medida quantitativa do grau de "calor" ou "frio" de um objeto ou sistema. Ela é uma representação da energia cinética média das partículas de uma substância - quanto mais rápido as partículas se movem, mais alta é a temperatura. A temperatura pode ser medida em várias escalas, incluindo Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Rankine e Réaumur; dentre outras.

A Figura 1 mostra essas escalas com seus respectivos pontos de ebulição e fusão.

Figura 1 – Principais escalas termométricas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

O calor, por outro lado, é uma forma de energia que é transferida de um corpo para outro como resultado de uma diferença de temperatura. O calor flui sempre do objeto mais quente para o objeto mais frio até que a temperatura dos dois objetos se iguale, um processo conhecido como equilíbrio térmico. O calor é medido em joules na unidade do Sistema Internacional (SI).

ESCALAS PRINCIPAIS DE TEMPERATURA

Escala celsius (°C)

A escala Celsius, também conhecida como escala centígrada, é amplamente utilizada em todo o mundo para a maioria das aplicações de temperatura. É baseada no ponto de congelamento da água (definido como 0 graus) e no ponto de ebulição da água (definido como 100 graus), ambos medidos à pressão atmosférica normal. É uma escala muito intuitiva para uso no cotidiano.

Escala fahrenheit (°F)

A escala Fahrenheit é predominantemente usada nos Estados Unidos e em alguns países caribenhos. Nessa escala o ponto de congelamento da água é 32 graus e o ponto de ebulição é 212 graus, também à pressão atmosférica normal. Essa escala foi originalmente baseada em uma variedade de pontos de referência, como a temperatura do congelamento da salmoura e a temperatura corporal humana média.

Escala Kelvin (K)

A escala Kelvin é a escala de temperatura utilizada no sistema internacional de unidades (SI). É uma escala absoluta, o que significa que o zero na escala Kelvin (0 K) representa o zero absoluto - o ponto teórico mais baixo possível em que todas as atividades moleculares cessam. A escala Kelvin é muitas vezes usada em cálculos científicos e termodinâmicos. Não se utiliza o termo "graus" quando se referindo à temperatura em Kelvin.

Escala Rankine (°R)

Assim como a escala Kelvin, a escala Rankine é uma escala absoluta, tendo como zero absoluto o valor 0 (zero); porém ao ponto de fusão e o ponto de ebulição da água foram dados os valores de 491,67 e 671,67, respectivamente.

Escala Réaumur (°Re)

A escala Réaumur é uma escala de temperatura proposta em 1730 pelo físico e inventor francês René-Antoine Ferchault de Réaumur, cujos pontos fixos são o ponto de congelamento da água (0°Ré) e seu ponto de ebulição (80°Ré).

CONVERSÃO DE ESCALAS DE TEMPERATURA

A conversão entre as diferentes escalas de temperatura é um processo bastante direto, desde que você conheça as equações corretas. No Quadro 1 temos as fórmulas para conversão direta entre as escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin:

Quadro 1 – Formulário para conversão de temperaturas.

Celsius para Fahrenheit	$F = C \cdot 1,8 + 32$
Fahrenheit para Celsius	$C = \frac{(F - 32)}{1,8}$
Celsius para Kelvin	$K = C + 273,15$
Fahrenheit para Kelvin	$K = (F + 459,67) \cdot \frac{5}{9}$
Kelvin para Fahrenheit	$F = K \cdot \frac{9}{5} - 459,67$

Fonte: Elaborado pelo Autor

CLASSIFICAÇÃO DOS MEDIDORES DE TEMPERATURA

Desempenhando papéis cruciais em vários setores, dependendo da precisão, faixa de temperatura, ambiente e método de medição; existem diferentes tipos de medidores de temperatura. Classificados como os mais comuns, são:

TIPOS DE MEDIDORES

Termômetros de líquido em vidro

São os termômetros tradicionais que consistem em um bulbo preenchido com um líquido (geralmente mercúrio ou álcool colorido) que se expande ou contrai em um tubo de vidro à medida que a temperatura muda. A Figura 2 mostra o termômetro de vidro com mercúrio.

Figura 2 – Termômetro de mercúrio em vidro



Fonte: Adaptado de Accmetrologia.

Termopares

São formados pela junção de dois metais diferentes. Quando aquecida ou resfriada, ela gera uma pequena tensão elétrica proporcional à diferença de temperatura entre a junção e o ponto de referência. Populares em aplicações industriais devido à sua robustez e ampla faixa de temperatura. A Figura 3 mostra um termopar.

Figura 3 – Termopar.



Fonte: Adaptado de Salfatis.

Termômetros bimetálicos

Consistem em duas tiras de metal diferentes, soldadas juntas, que se expandem a taxas diferentes com a mudança de temperatura. Esta expansão diferencial é convertida em movimento rotacional, usado para acionar um ponteiro ou outro indicador. A Figura 4 mostra um termômetro bimetalício.

Figura 4 – Termômetro bimetalício.



Fonte: Adaptado de Salfatis.

Termômetro à dilatação de líquido em recipiente metálico

Frequentemente referido como termômetro de bulbo de metal, é um dispositivo utilizado para medir a temperatura, baseado na dilatação térmica de um líquido contido em um recipiente de metal.

Assim como os termômetros de líquido em vidro, o termômetro à dilatação de líquido em recipiente metálico se baseia na expansão e contração de um líquido devido às mudanças de temperatura. Contudo, em vez de um capilar de vidro, utiliza um bulbo metálico sensível à pressão.

A Figura 5 mostra um termômetro de dilatação de líquido.

Figura 5 – Termômetro de dilatação de líquido



Fonte: Adaptado de www.wika.com.br.

Termômetros à pressão de gás

São dispositivos que se baseiam nas variações de pressão de um gás para medir a temperatura. A relação entre a temperatura e a pressão de um gás ideal é bem estabelecida pela lei dos gases ideais, o que torna o gás um bom meio para determinações precisas de temperatura em diversas faixas. A pressão de um gás varia linearmente com a temperatura, desde que o volume seja mantido constante. Alternativamente, se a pressão for mantida constante, o volume do gás variará com a

temperatura. O termômetro à pressão de gás se baseia nessas relações para determinar a temperatura.

A Figura 6 mostra o termômetro à pressão de gás.

Figura 6 – Termômetro à pressão de gás.



Fonte: Adaptado de www.wika.com.br.

CAPÍTULO 5

MEDIÇÃO DE NÍVEL

CONCEITO

A medida do nível de um reservatório contendo líquido ou sólido, é efetuada a fim de manter esta variável em um valor fixo ou entre dois valores determinados, ou ainda para determinar a quantidade (volume ou massa) do fluido em questão, correspondendo a medida da altura de um material contido dentro de um reservatório, seja esse material líquido ou sólido.

A medição de nível não só é de grande relevância para o controle de processos como também para avaliação de cálculos de custos e a realização de inventários. A medição de nível varia entre simples visores de leitura local ou remota, até sistemas mais complexos de registro, histórico ou até mesmo de controles automáticos que já é uma realidade na indústria por meio dos controladores lógicos programáveis; podendo, por exemplo, acionar bombas que controlam o nível de acordo com o desejado.

CLASSIFICAÇÃO DOS MEDIDORES DE NÍVEL

Os medidores de nível podem ser classificados de três formas distintas: por medição de nível direta, medição indireta e medição descontínua.

MEDIÇÃO DIRETA

Na medição de nível direta toma-se como base a posição da superfície do plano superior da substância medida, nesta classificação de medição podem ser utilizados medidores como réguas ou gabaritos, visores de nível, boia ou flutuador; dentre outros.

MEDIÇÃO INDIRETA

Na medição de nível indireta, a medida de nível é obtida indiretamente por meio de grandezas físicas como: pressão, empuxo, radiação e propriedades elétricas.

MEDIÇÃO DESCONTÍNUA

Na medição de nível descontínua o medidor de nível funciona como um indicador de nível que só é acionado quando o nível atinge o valor programado. A medição descontínua é utilizada principalmente em sistemas de segurança que contenham alarmes ou em sistemas automatizados onde a indicação de nível implica em uma ação ou processo a se realizar.

O Quadro 1 mostra alguns dos tipos de medidores de nível mais utilizados na instrumentação.

Quadro 1 – Medidores de nível mais utilizado na instrumentação.

MEDIÇÃO DIRETA	MEDIÇÃO INDIRETA
<ul style="list-style-type: none"> . Réguas ou Gabaritos . Visores de Nível . Boia ou Flutuador 	<ul style="list-style-type: none"> . Displace (Empuxo) . Pressão Diferencial (Diafragma) . Borbulhador . Capacitância Eletrostática . Ultrassônico . Por pesagem . Por Raios Gama

Fonte: Elaborado pelos autores.

TIPOS DE MEDIDORES DE NÍVEL

TIPO RÉGUA OU GABARITO

O medidor de nível tipo régua ou gabarito é um dispositivo simples utilizado para medir o nível de líquidos em tanques ou reservatórios. Consiste em uma régua com marcações graduadas em unidade de comprimento, volume ou massa; permitindo uma leitura visual direta do nível do líquido. Embora seja menos preciso em comparação com outras tecnologias de medição, é útil em situações em que uma estimativa visual é suficiente, especialmente em reservatórios pequenos ou em locais onde a simplicidade e a redução de custos são prioridades.

A utilização desse medidor pode estar sujeita a erros de leitura devido a problemas de paralaxe e à irregularidade do nível do líquido ou do sólido; bem como também a mudanças de temperatura ou densidade do fluido medido.

A Figura 1 mostra o medidor de nível do tipo régua.

Figura 1 – Medidor de nível tipo régua.



Fonte: nivetec.com.br (2023).

ERRO DE PARALAXE

“Um erro de paralaxe acontece graças a um desvio óptico que é causado pelo ângulo de visão de um indivíduo, causando uma observação errada em uma escala de graduação.”

VISORES DE NÍVEL

Os visores de nível desempenham um papel fundamental na monitoração visual direta do nível de líquidos em diversos processos industriais. Baseados no princípio dos vasos comunicantes, esses dispositivos utilizam um tubo transparente que conecta o fundo do reservatório ao ponto mais alto, permitindo uma leitura precisa do nível. Sua aplicação

abrange uma ampla variedade de cenários, desde vasos de reatores e tanques até colunas de destilação, sendo de grande relevância quando uma verificação visual é essencial para a operação segura e eficiente do processo. A sua relativa simplicidade e custo acessível fazem dos visores de nível uma escolha comum para monitoramento local, embora possam ser limitados em situações de extrema pressão ou temperaturas elevadas.

A Figura 2 mostra um medidor do tipo Visor de nível.

Figura 2- Visor de nível



Fonte: Adaptado de aliton.com.br (2024).

A construção robusta desses visores de nível, juntamente com a facilidade de manutenção, contribui para a sua durabilidade e confiabilidade. No entanto, a escolha entre os diferentes tipos de visores, como os tubulares, de vidro plano ou magnéticos, deve ser feita considerando as características específicas do processo e as condições operacionais. Em ambientes onde a segurança e a observação visual direta são primordiais, os visores de nível continuam a ser uma opção viável, oferecendo uma maneira eficaz de acompanhar o nível de líquidos em tempo real, facilitando a tomada de decisões e garantindo um controle preciso dos processos industriais.

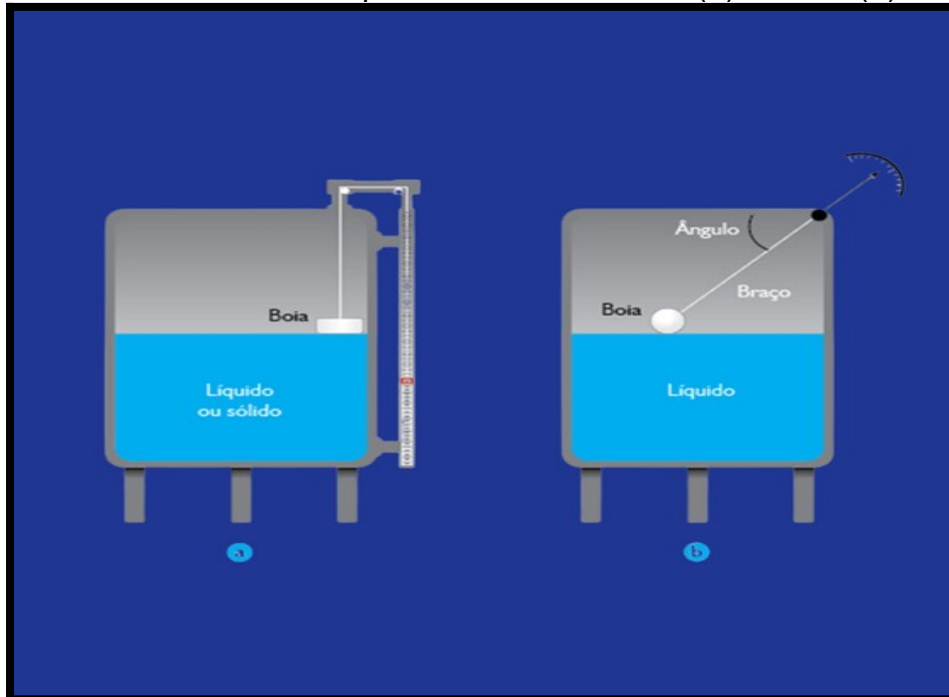
BOIA OU FLUTUADOR

Medidores de nível tipo boia são comumente utilizados para aferir e supervisionar os níveis de líquidos em diversos tipos de reservatórios. Esses dispositivos utilizam do princípio do empuxo e flutuação, em que uma boia é conectada a um sistema de alavancas ou cabos que transmitem o movimento vertical da boia para um indicador externo.

Existem três categorias primárias de medidores de nível tipo boia: os com flutuador interno, flutuador externo e flutuador livre.

O medidor de nível com flutuador interno instala a boia no interior do tanque e converte seu deslocamento vertical em um movimento rotativo através de uma alavanca, o que resulta em uma indicação direta ou de posição. Esse tipo de medidor é frequentemente utilizado em tanques descobertos. Entretanto, é crucial garantir a ausência de vazamentos quando empregados em reservatórios pressurizados ou esvaziamentos.

No caso do medidor de nível com flutuador externo, a boia é acomodada em uma câmara localizada fora do tanque. Conforme o nível se altera, a boia executa movimentos verticais, transmitindo essa mudança ao indicador por meio de um sistema de alavancas. Essa variante é menos sensível a oscilações na superfície do líquido e se destina especialmente a medições em tanques pressurizados, contêineres, reservatórios com líquidos corrosivos e na interface entre líquidos de densidades distintas. A Figura 3 mostra um medidor do tipo boia.

Figura 3 - Medidores de nível tipo boia ou flutuadores: (a) linear e (b) não linear.

Fonte: Adaptado do Instituto Metr pole Digital – IMD (2023).

O medidor de nível tipo flutuador livre é caracterizado pela boia que oscila para cima e para baixo através de uma fita metálica ou corrente conectada a um peso. Essa categoria de medidor é particularmente vantajosa em situa es em que a faixa de medi o varia aproximadamente de 0 a 30 metros. Os medidores de nível tipo boia desempenham um papel crucial em diversos processos industriais, proporcionando uma avalia o precisa e confiável dos níveis de líquidos em uma ampla gama de aplica es.

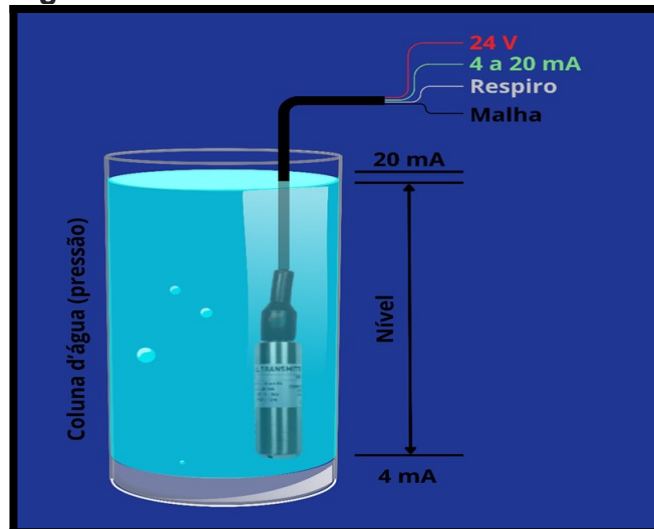
MEDIDOR DE NÍVEL POR PRESSÃO HIDROSTÁTICA

O medidor de nível por pressão hidrostática, também conhecido como medidor de pressão diferencial, é um dispositivo utilizado para medir o nível de um líquido em um tanque ou reservatório. Esse tipo de medidor se baseia no princípio da pressão hidrostática, que   a pressão exercida pelo peso do líquido sobre o ponto de medi o.

O funcionamento desse medidor é relativamente simples. Ele consiste em dois pontos de medi o, um localizado na parte inferior do tanque, onde a pressão é transportada pelo peso do líquido, e outro localizado na parte superior do tanque, onde a pressão atmosférica atua. A diferença entre essas duas pressões é diretamente

proporcional à altura do líquido no tanque, ou seja, ao seu nível. A Figura 4 mostra um transmissor de nível hidrostático.

Figura 4- Transmissor de nível hidrostático



Fonte: Adaptado de Alfacomp (2023).

Essa diferença de pressão é geralmente medida por um transmissor de pressão diferencial, que converte o sinal de pressão em um valor de nível.

O medidor de pressão hidrostática é amplamente utilizado em diversos setores industriais, como químicos, petroquímicos, alimentícios, farmacêuticos e muitos outros; monitorando o nível de líquidos em tanques, vasos e reservatórios. Oferece uma medição confiável e precisa, sendo especialmente útil em aplicações em que a presença de líquidos corrosivos ou de alta graduação pode dificultar o uso de outros tipos de medidores. Além disso, a simplicidade do princípio de operação do medidor de pressão hidrostática contribui para sua ampla aplicação em diferentes cenários industriais.

MEDIDOR DE NÍVEL POR PRESSÃO DIFERENCIAL EM TANQUES ABERTOS

O medidor de nível por pressão diferencial em tanques abertos é empregado para avaliar o nível de líquidos em tanques que não são hermeticamente fechados, permitindo que o líquido esteja exposto à atmosfera exterior. Esse tipo de dispositivo opera com base no princípio da pressão hidrostática, onde a altura do líquido dentro do tanque exerce uma

pressão diretamente proporcional ao seu peso. A Figura 5 mostra um medidor de nível por pressão diferencial em tanques abertos.

Figura 5 - Medidor de nível por pressão diferencial em tanques abertos



Fonte: Adaptado de profibus.org.br (2023).

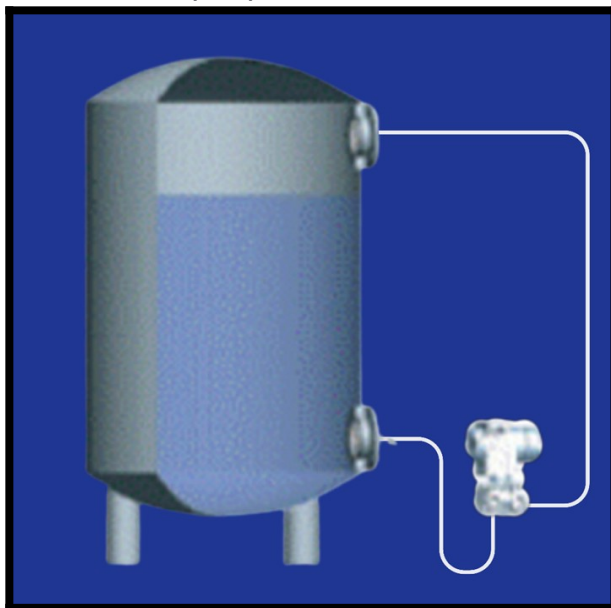
Frequentemente para facilitar a manutenção e o acesso ao instrumento, o transmissor é posicionado abaixo do tanque. Em situações em que não existe uma plataforma de fixação em torno de um tanque elevado, o instrumento pode ser colocado em um plano mais baixo em relação à tomada de alta pressão. Em ambos os cenários, uma coluna líquida se forma com a altura do líquido dentro da tomada de impulso. Caso essa questão não seja tratada, o transmissor indicará um nível mais elevado do que o real.

MEDIDOR DE NÍVEL POR PRESSÃO DIFERENCIAL EM TANQUES PRESSURIZADOS

Esse tipo de medidor também se baseia no princípio da pressão hidrostática, onde a altura do líquido dentro do tanque resulta em uma pressão proporcional ao seu peso. A configuração típica desse medidor envolve a instalação de um transmissor de pressão na parte superior do tanque e um elemento de impulso conectado na parte inferior do tanque, submerso no líquido. A pressão no ponto inferior do tanque é influenciada pela coluna de líquido acima dela, enquanto a pressão atmosférica atua sobre o transmissor na parte superior. A diferença entre essas pressões é então usada para calcular e indicar o nível do líquido dentro do tanque.

A Figura 6 mostra o medidor de nível por pressão diferencial em tanques fechados.

Figura 6 - Medidor de nível por pressão diferencial em tanques fechados



Fonte: profibus.org.br (2024).

Esse tipo de medidor pode ser encontrado em utilização em diversas indústrias, como a química, petroquímica e de processamento de alimentos, onde os fluidos geralmente são armazenados ou processados em condições pressurizadas. Ele oferece uma abordagem precisa e confiável para o monitoramento dos níveis, permitindo um controle eficiente dos processos e contribuindo para a segurança operacional.

MEDIDOR DE NÍVEL DO TIPO BORBULHADOR

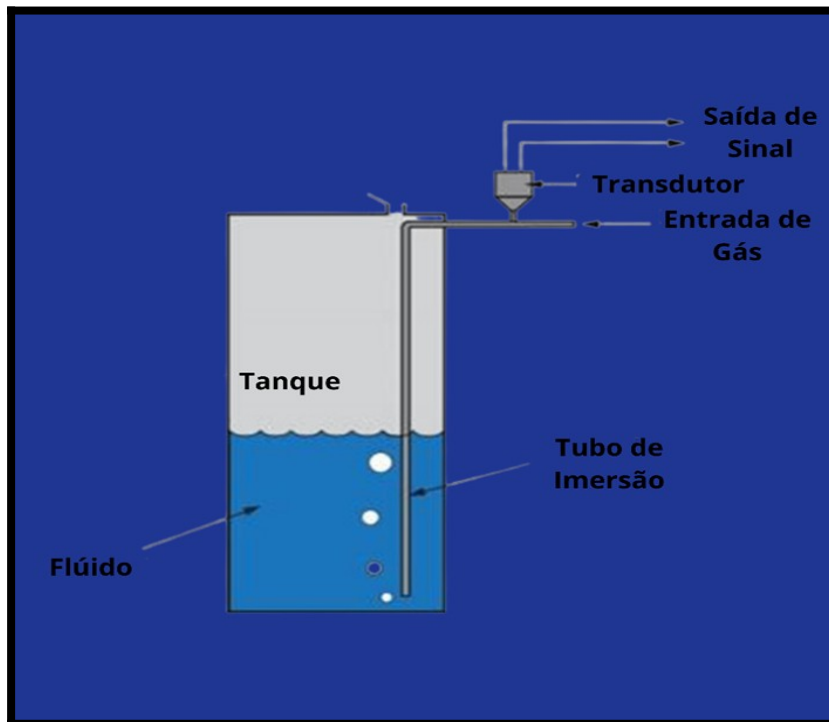
É um equipamento utilizado para medir o nível de líquidos em tanques ou reservatórios. Esse tipo de medidor é baseado no princípio da pressão hidrostática e opera com a formação de bolhas de ar ou gás que são injetadas no líquido no fundo do tanque por meio de uma tubulação. À medida que essas bolhas sobem pela coluna de líquido exercem uma pressão que é diretamente proporcional à altura do líquido no tanque.

A composição do medidor de nível do tipo borbulhador inclui um tubo vertical submerso no líquido e conectado à parte inferior do tanque. O gás é introduzido no tubo através de um regulador de pressão, formando as bolhas que sobem pela coluna de

líquido. A pressão na parte superior do tubo é medida e convertida em um valor de nível correspondente, podendo ser vista em um indicador de nível distante do reservatório.

A Figura 7 mostra o esquema de um medidor de nível do tipo borbulhador.

Figura 7 - Medidor de nível do tipo borbulhador.



Fonte: Adaptado de citisystems.com.br, acesso em 22/08/2023.

Esse tipo de medidor oferece vantagens como a capacidade de medição em altas temperaturas e pressões, além de ser adequado para líquidos corrosivos. No entanto, requer uma atenção especial para a calibração e manutenção, a fim de garantir resultados precisos e confiáveis.

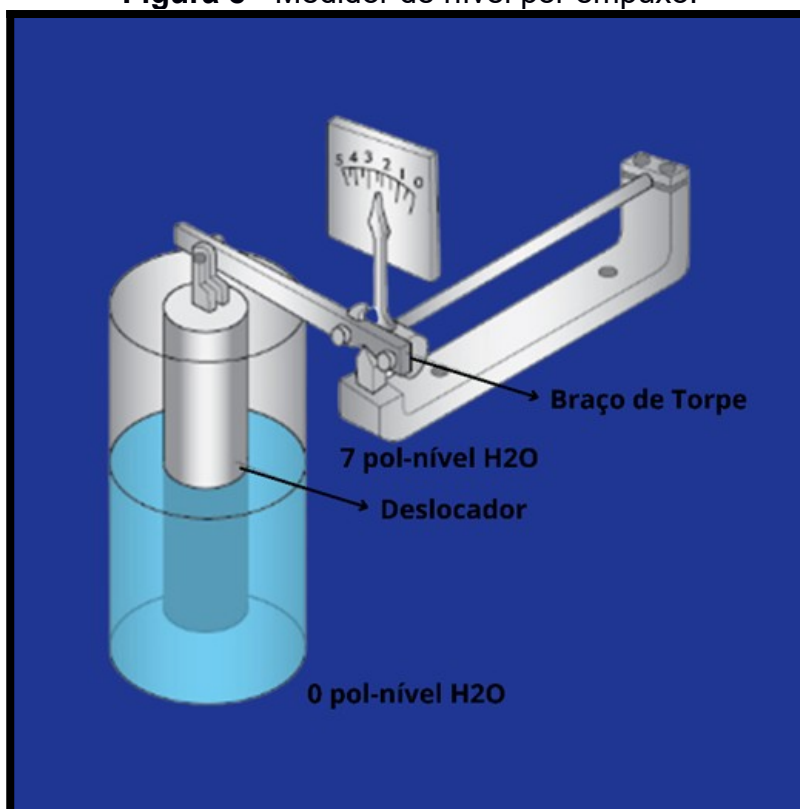
MEDIDOR DE NÍVEL POR EMPUXO

O medidor de nível por empuxo é fundamentado no princípio do empuxo de Arquimedes, que afirma que um corpo submerso em um fluido experimenta uma força de empuxo igual ao peso do fluido deslocado.

A configuração básica do medidor de nível por empuxo envolve um flutuador que flutua na superfície do líquido. Conforme o nível do líquido varia, o flutuador sobe ou

desce, gerando um movimento mecânico que é transmitido para um indicador externo, permitindo a leitura do nível. Esse tipo de medidor é comumente utilizado em tanques abertos ou pressurizados, e sua precisão pode ser influenciada por fatores como densidade do fluido e temperatura. A Figura 8 mostra este tipo de medidor.

Figura 8 - Medidor de nível por empuxo.



Fonte: Adaptado de aboutinstrumentation.blogspot.com, acesso em 24/08/2023.

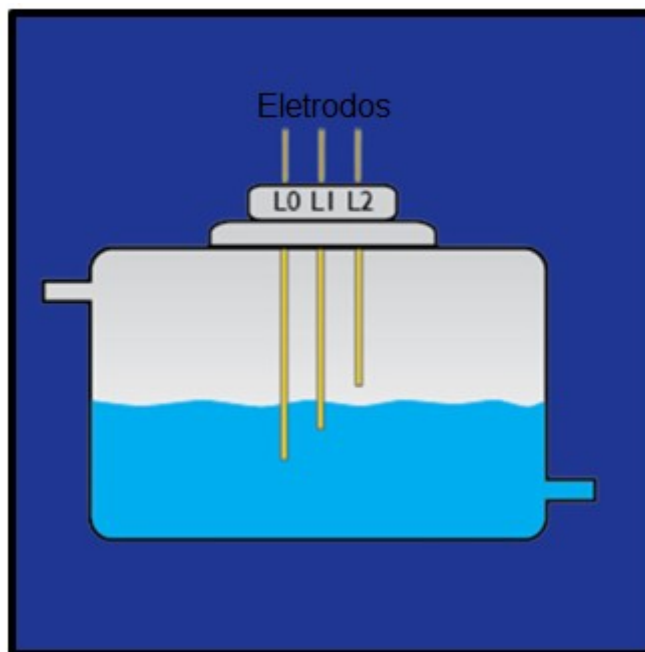
O medidor de nível por empuxo é empregado em diversas aplicações industriais, incluindo a medição de líquidos corrosivos, agressivos ou inflamáveis e quando há dois líquidos com densidades diferentes em um mesmo tanque. Sua simplicidade de operação e relativa facilidade de manutenção são vantagens notáveis. Entretanto, para garantir sua precisão e funcionamento confiável, é necessário considerar fatores ambientais e características do fluido como a densidade; além de realizar uma calibração adequada.

MEDIÇÃO DE NÍVEL DESCONTÍNUA POR CONDUTIVIDADE

A medição de nível descontínua por condutividade é um método utilizado para determinar o nível de líquidos em tanques ou reservatórios de forma intermitente, isto é,

intervalada. Esse tipo de medição se baseia na variação da condutividade elétrica do líquido conforme o nível se altera. A Figura 9 mostra a configuração deste tipo de medidor.

Figura 9 - Medidor de nível por condutividade com três eletrodos.



Fonte: Adaptado de Balbinot e Brusamarello (2011).

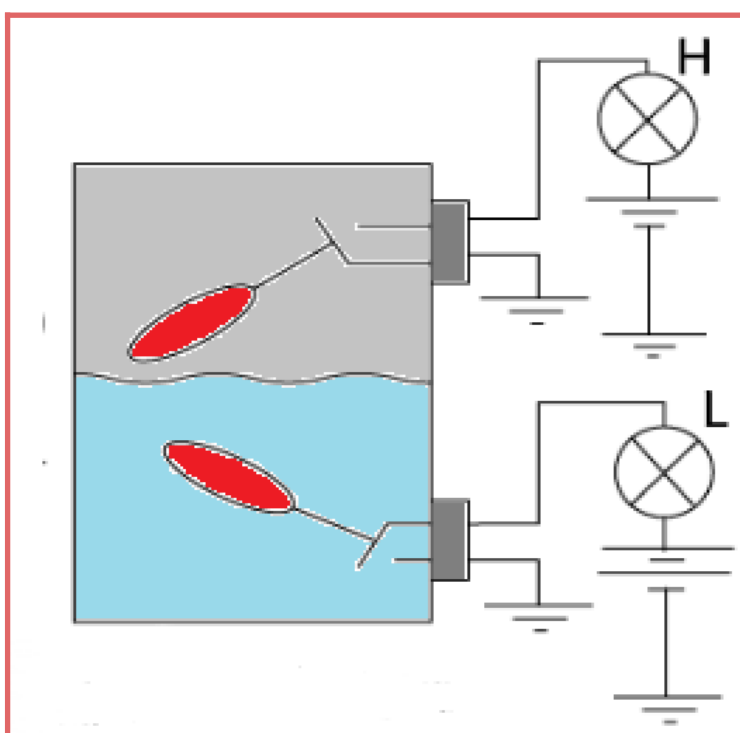
O sistema consiste em eletrodos distribuídos em diferentes alturas dentro do tanque. Quando o nível do líquido atinge um desses eletrodos, ocorre a condução elétrica entre eles devido à presença do líquido, o que é detectado pelo sistema de medição. Isso permite identificar quando o nível atingiu um determinado ponto predefinido, como o máximo ou o mínimo, por exemplo. Essa medição é bastante útil para controle de enchimento ou esvaziamento de tanques, prevenção de transbordamento ou operação de bombas.

Por outro lado, a medição de nível descontínua por condutividade tem suas limitações, especialmente em líquidos com baixa condutividade ou quando há formação de depósitos nos eletrodos. Além disso, a precisão pode ser afetada por fatores como temperatura e propriedades dielétricas do líquido. Portanto, ao implementar esse método, é importante considerar as características do líquido, bem como realizar calibrações periódicas para garantir uma medição confiável e precisa.

MEDIÇÃO DE NÍVEL DESCONTÍNUA POR BÓIA

A medição de nível descontínua por boia é um método utilizado para monitorar o nível de líquidos em tanques ou reservatórios de maneira intermitente. Esse método se baseia na flutuação de uma boia na superfície do líquido que está conectada a um sistema de detecção ou indicador. A Figura 10 mostra a configuração de medição de nível utilizando o sistema com boia.

Figura 10 - Medidor de nível tipo boia descontínuo.



Fonte: Adaptado de instrumentacaoecontrole.com.br.

Nessa medição, quando o nível do líquido atinge um certo ponto predefinido, a boia é levantada ou abaixada pela variação do nível. Essa mudança na posição da boia é detectada pelo sistema de detecção, que pode acionar um interruptor ou enviar um sinal para indicar que o nível foi atingido. Isso é especialmente útil em aplicações onde é necessário controlar o enchimento ou esvaziamento do tanque para evitar transbordamentos ou secagens excessivas.

A medição de nível descontínua por boia é amplamente utilizada em diversos setores, como indústrias químicas, petroquímicas, de alimentos e bebidas, entre outros. No entanto, é importante considerar as características do líquido, o design da boia e do sistema de detecção; bem como realizar manutenções regulares para garantir a precisão e confiabilidade da medição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBINOT E BRUSAMARELLO. **Instrumentação e Fundamentos de medidas**. LTC, São Paulo, 2011.

BOURDON EM ESPIRAL. Disponível em: <http://maragna.com.br/peças-e-acessorios/manometro-espiral-1-0-mpa-resil-bucka-extang-fercam-protége-kidde.html> . Acesso em: 12/04/2023.

COLUNA de líquido. Salcas.com.br. Disponível em: <https://www.salcas.com.br/manometro-de-coluna-liquida-vertical-serie-tj>. Acesso em 08/03/2023.

COMO funciona um Medidor tipo Vórtex. Conault, 2023. Disponível em <https://www.conaut.com.br/blog/102-como-funciona-um-medidor-tipo-vortex> Acesso em: 02/08/2023.

ELETROBRÁS [et al.]. **Instrumentação e controle: guia básico**. Brasília : IEL/NC, 2008. FRANCISCO, L.. **Instrumentação industrial**. São Paulo: Americana, [s.d.]

GONÇALVES. M.. **Monitoramento e controle de processos**. Rio de Janeiro: Petrobras ; Brasília : SENAI/ DN, 2003.

MANÔMETRO e diafragmas. www.wika.com.br. Disponível em: https://blog.wika.com.br/know-how/vantagens-de-manometros-com-diafragma-solucao-para-meios-criticos/?doing_wp_cron=1692976049.54251790046691894535. Acesso em 20/03/2023.

MANÔMETRO de cápsula. www.wika.com.br. Disponível em: https://www.wika.com.br/632_51_pt_br.WIKA. Acesso em 25/03/2023.

MANÔMETRO de pressão diferencial. Disponível em: https://www.temperuniao.com.br/p_man_diferenc_87.htm . Acesso em 06/04/2023.

MANÔMETRO tipo capacitivo. Disponível em: <https://pt.silverinstruments.com/product/pressure-measurement/capacitive-pressure-sensor-3351.html> . Acesso em 08/04/2023.

MEDIDORES..... Propeq, 2019. Disponível em <https://propeq.com/medidores-de-Vazao/#:~:text=Os%20medidores%20de%20vaz%C3%A3o%20indiretos,Venturi%20e%20Placa%20de%20Orif%C3%ADcio>. Acesso em: 15/07/2023.

MEDIDOR de nível tipo régua. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/fuel-tank-shown-level-measurement-ruler-2006679911>. Acesso em 16/08/2023.

MEDIDORES de nível tipo boia ou flutuadores. Disponível em : <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/52/7/4>. Acesso em : 17/08/2023.

MEDIDOR de nível por pressão diferencial em tanques abertos. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/artigo-tecnico/wika-medicao-de-nivel-em-tanques-pela-pressao-diferencial>. Acesso em 20/08/2023.

MEDIDOR de nível por pressão diferencial em tanques fechados. Disponível em: <https://www.profibus.org.br/artigo-tecnico/wika-medicao-de-nivel-em-tanques-pela-pressao-diferencial>. Acesso em 20/08/2023.

MEDIDOR de nível com borbulhador. Sensor de Nível: 10 Tipos Diferentes para Aplicar na Indústria. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/sensor-de-nivel/>. Acesso em 22/08/2023.

MEDIDOR de nível por empuxo. Flutuabilidade: Medição indireta de nível. Disponível em: <http://aboutinstrumentation.blogspot.com/2012/03/buoyancy-indirect-level-measurement.html>. Acesso em 24/08/2023.

MEDIÇÃO de Nível: Tudo para você virar um especialista no assunto. Disponível em: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/tudo-sobre-medicao-de-nivel/>. Acesso em 25/08/2023.

MEDIDOR de vazão ultrassônico. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/pipe-section-ultrasonic-sensors-liquid-flow-1667142754> . Acesso em 04/07/2023.

MEDIDOR de vazão Coriolis. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/coriolis-flow-meter-mass-measurement-oil-435711478>. Acesso em 20/07/2023.

MEDIDOR de vazão tipo turbina. Disponível em: <https://metrimeasurements.co.uk/turbine-flow-meters/>. Acesso em 28/07/2023.

MEDIDOR de vazão Coriolis. Automacao e cartoons, 2019. Disponível em <https://automacaoecartoons.com/2020/03/13/medidor-de-vazao-coriolis-massico/> . Acesso em: 20/07/2023.

MEDIDOR de vazão eletromagnético. Disponível em: <https://www.termometrorc.com.br/medidor-de-vazao-de-ar>. Acesso em: 25/07/2023.

PLACA de orifício. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/focused-closeup-image-restricted-orifice-ro-2278508245>. Acesso em 15/06/2023.

PIEZOELÉTRICO. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-2638531394-pastilha-transdutor-piezo-eletrico-12mm-sensor-piezoelétrico-_JM. Acesso em: 12/04/2023.

ROTÂMETRO. Disponível em :<https://www.shutterstock.com/pt/image-photo/penang-malaysia-26-april2021-selective-focus-1962994072> . Acesso em 22/04/2023.

SENSOR de torque estático. MKControle. 2024. Disponível em: <https://mkcontrole.com.br/produto/sensor-de-torque-estatico-mkte/>. Acesso em: 03/03/202.

STRAIN GAUGE. Disponível em: <https://www.autocorerobotica.com.br/strain-gauge-extensometro-de-resistencia-eletrica>. Acesso em 10/04/2023.

TERMÔMETRO de mercúrio em vidro. Disponível em: <https://accmetrologia.com.br/tipos-de-termometros-entenda-qual-o-melhor-para-o-seu-processo/>. Acesso em 04/07/2023.

TERMOPAR. Disponível em: <https://salfatis.com.br/produtos/termopares-mts-t-j-ponta-latao/>. Acesso em 05/07/2023.

TERMÔMETRO bimetalico. Disponível em: <https://www.brewhouseinsumos.com.br/termometro-bimetalico>. Acesso em 14/07/2023.

TERMÔMETRO de dilatação de líquido. Disponível em: https://www.wika.com.br/70_pt_br.WIKA. Acesso em 17/07/2023.

TERMÔMETRO à pressão de gás. www.wika.com.br. Disponível em: https://www.wika.com.br/75_pt_br.WIKA . Acesso em 19/07/2023.

TOGNETTI, E. S.. **Simbologia e Terminologia de Instrumentação da Norma ISA 5.1**. Laboratório de Automação e Robótica (LARA). Dept. Engenharia Elétrica – UnB. Disponível em: http://www.ene.unb.br/estognetti/files/Simbologia_ISA.pdf. Acesso em: 02/09/2024.

TRANSDUTORES de pressão para polímeros. Digitrol.com.br. Disponível em: <https://digitrol.com.br/produto/transdutores-de-pressao-para-polimeros-dyn-x-dynisco/>. Acesso em: 02/09/2024.

TRANSMISSOR de nível hidrostático. Disponível em :<https://alfacomp.net/produto/tnh20-transmissor-de-nivel-hidrostatico/>. Acesso em 18/08/2023.

TUBO de Bourdon tipo C. Embarcados.com.br. Disponível em: <https://embarcados.com.br/medicao-de-pressao-tubo-de-bourdon-tipo-c/>. Acesso em: 05/03/2023.

TUBO de Venturi. Disponível em: <https://www.shutterstock.com/pt/image-vector/venturi-effect-reduction-fluid-pressure-that-2173932705>. Acesso em 13/06/2023.

VISOR de nível. Disponível em:<https://www.lojabrasilvapor.com.br/visor-de-nivel-reletivo-topo-oblogo-inox-aco-inox-aisi-316>. Acesso em 16/08/2023.

SOBRE OS AUTORES

BRUNO MENDONÇA SABINO

Graduando em Engenharia de Energia pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN).

KAIO GRACO COSTA GARCIA

Graduando em Engenharia de Energia pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Possui experiência em instalação de sistemas fotovoltaicos, controle organizacional de estoque, relatórios e formulários oficiais de instalação e visitas técnicas para análise do sistema elétrico do local.

DJALMA VALÉRIO RIBEIRO NETO

Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental (linha de pesquisa - tecnologia dos materiais e adequação ambiental) no PPGECA/UEPB. Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (IFRN). Graduado em Gestão Ambiental pelo IFRN e Técnico em Mineração também pelo IFRN. Atualmente, é servidor público federal no cargo de Técnico Laboratorista em Tecnologia Mineral no IFRN Campus Natal-Central e Pesquisador, atuando no Grupo de Pesquisa em Processamento Mineral e no Laboratório de Tecnologia Mineral e Materiais (LT2M). Ainda, Coordenador do Laboratório de Caracterização de Minerais e Materiais (Lacamm). Na extensão, desenvolve projetos de apoio aos pequenos mineradores do Rio Grande do Norte. Na pesquisa, possui experiência e atua com ciência e materiais de construção civil (concretos autoadensáveis e argamassas autonivelantes), reutilização de resíduos sólidos de mineração, concentração mineral densitária, economia circular na mineração e com caracterização físico-química, microestrutural e morfológica de minerais e materiais. Como estudante técnico, teve experiência de atuação na empresa Yamana Gold, em Goiás, atuando com pesquisa mineral brownfield.

FLÁNELSON MACIEL MONTEIRO

Doutor em Engenharia Mecânica - PPGEM/UFRN (2017), Mestre em Engenharia Mecânica -PPGEM/UFRN (2012), Especialista em Engenharia de Petróleo e Gás - UnYleYa (2017), Especialista em Engenharia Ambiental - FANIP/Prominas (2020), Especialista em Engenharia e Gerenciamento de Manutenção - Faculdade Única (2021),

Especialista em Mineração e Meio Ambiente - PROMINAS/Faculdade Única (2023), Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica - IFRN (2009), Graduação em Direito - Uninassau/Natal (2023). Professor do quadro permanente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN - Campus Natal Central). É, atualmente, líder do grupo de pesquisa de Processamento Mineral do IFRN Campus Natal-Central e Pesquisador do Laboratório de Tecnologia Mineral e Materiais (LT2M). Principais linhas de pesquisa: Cerâmica Estrutural, Revestimentos Cerâmicos, Mineração e Meio Ambiente, Metalurgia, Processamento de Materiais Metálicos e interdisciplinaridade (Engenharia e Ciências Sociais).

RAIMISON BEZERRA DE ASSIS

Doutor e Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Graduado em Engenharia de Produção (UFRN) e em Tecnologia em Fabricação Mecânica (IFRN). Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Universidade Cândido Mendes (UCAM/RJ). Coordenador do Grupo de Pesquisa: Automação, Eficiência Energética e Produção (IFBA), e colaborador dos Grupos de Pesquisa: Processamento e Caracterização de Materiais Particulados (IFBA) e Processamento Mineral (IFRN). Pesquisador membro do Instituto Nacional de Ciências e Tecnologia dos Materiais em Nanotecnologia (INCTMN). Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Materiais Não-Metálicos, atuando principalmente nos seguintes temas: Materiais e Processos de Fabricação/ Produção, Processamento Mineral, Produção de Materiais Magnéticos, Materiais Ópticos, Fotocatálise e Fotoluminescência. Atualmente é Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), na área de Engenharia Mecânica: Projetos & Materiais. Atuou no Polo de Inovação Salvador - PIS/ IFBA na função de Chefe do Departamento de Gestão de Projetos e Consultor de Projetos Tecnológicos (PD&I).

TERCIO GRACIANO MACHADO

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (1991), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte/PPGEM (1996) e Doutorado em Engenharia de Materiais (2012) na UFRN/PPGCEM. Pesquisador com experiência em Projetos e processamentos de material metálico (metalurgia do pó) e cerâmico. Exerceu a função de Diretor do Polo de Inovação Salvador - PIS e atualmente é Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – Campus Natal Central. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2764-3316>

ISBN 978-655376411-8



9

786553

764118