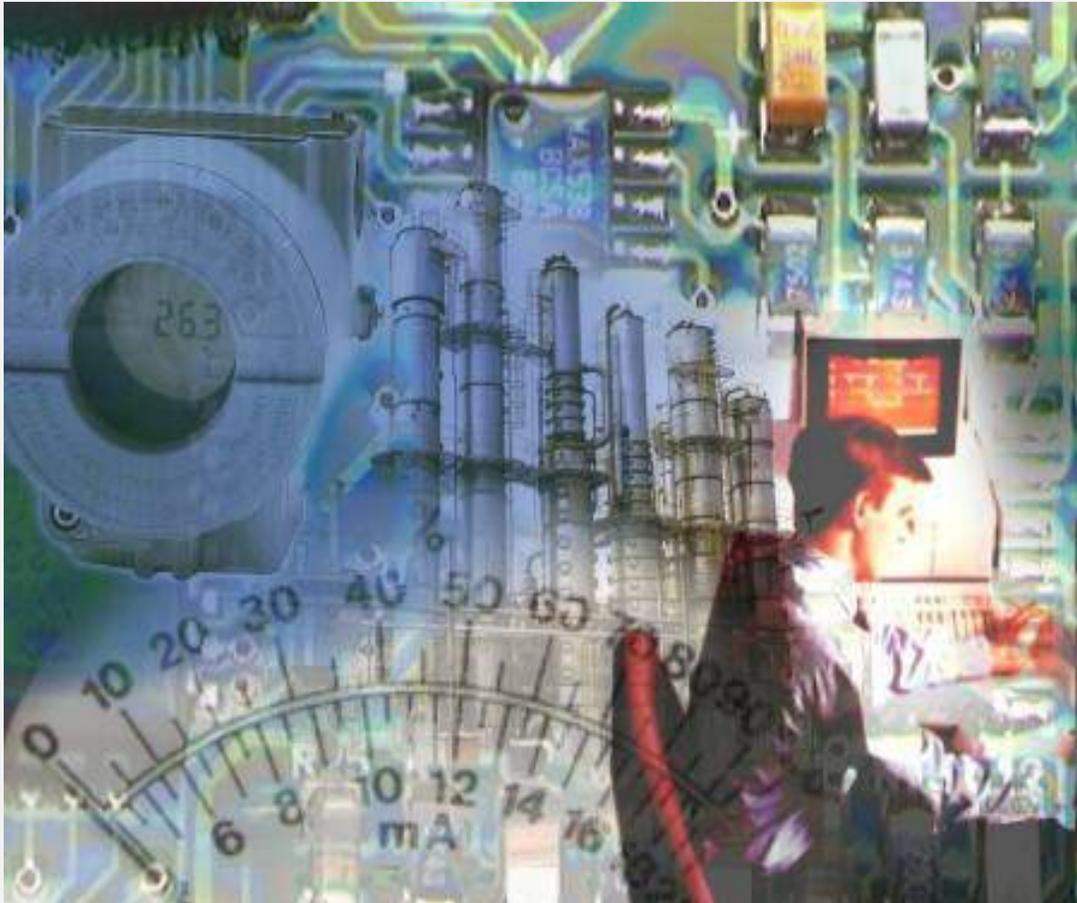


# MANUAL DE TREINAMENTO

## INSTRUMENTAÇÃO BÁSICA PARA CONTROLE DE PROCESSO



Autor: Eng. Rogério Pessa

**CENTRO DE TREINAMENTO SMAR**

**2006**  
VER 2.2

smar

**ÍNDICE GERAL**

<b>CAPÍTULO 1 - CONCEITOS BÁSICOS DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE</b>	<b>1.1</b>
<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	<b>1.2</b>
1.1 - Malha de Controle Fechada	
<b>2 - DEFINIÇÕES EM INSTRUMENTAÇÃO</b>	<b>1.3</b>
2.1 - Classes de Instrumentos	
2.2 - Faixa de Medida ( Range )	
2.3 - Alcance ( Span )	
2.4 - Erro	
2.5 - Repetitividade	
2.6 - Exatidão	
2.7 - Rangeabilidade ( Largura de Faixa )	
2.8 - Terminologia	
2.9 - Símbolos Utilizados nos Fluxogramas de Processo	
2.10 - Simbologia Geral em Instrumentação	
2.11 - Tabela de Identificação Funcional dos Instrumentos	
<b>3 - PRINCIPAIS SISTEMAS DE MEDIDA</b>	<b>1.9</b>
3.1 - Sistema Métrico Decimal	
3.2 - Sistema Físico ou Cegesimal	
3.3 - Sistema Industrial Francês	
3.4 - Sistema Prático ou Gravitatório	
3.5 - Sistemas Ingleses	
<b>4 - EXERCÍCIOS</b>	<b>1.12</b>
<b>5 - APÊNDICE</b>	<b>1.14</b>
<b>TABELA 1 - SISTEMAS DE UNIDADES GEOMÉTRICAS E MECÂNICAS</b>	<b>1.15</b>
<b>DIAGRAMA DE VAZÃO TÍPICO</b>	
<b>CAPÍTULO 2 - TELEMETRIA</b>	<b>2.1</b>
<b>1 – TRANSMISSORES</b>	<b>2.2</b>
1.1 - TRANSMISSÃO PNEUMÁTICA	
1.2 - Transmissão Eletrônica	
1.2.1 – Transmissor a 2 fios	
1.2.2 – Transmissor a 4 fios	
<b>2 – SINAIS DIGITAIS</b>	<b>2.4</b>
<b>2.1 – NOÇÕES EM TRANSMISSÃO DE DADOS</b>	<b>2.4</b>
A) Comunicação Paralela	
B) Comunicação Serial	
C) Tipos de Modulação	
C.1) Modulação Analógica e Digital	
D) Velocidade de Transmissão	
<b>2.2 - REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAIS</b>	<b>2.7</b>

INTRODUÇÃO	
Redes de Campo	
2.2.1 – Rede AS-i (Actuador & Sensor Interface)	
2.2.2 – Rede DeviceNet	
2.2.3 – Redes Profibus	
2.2.3.1 – Rede Profibus - DP (Decentralized Peripheria)	
2.2.3.2 – Rede Profibus - PA (Process Automation)	
2.2.4 - Protocolo HART	
2.2.5 – Rede Fieldbus Foundation	

**3 – EXERCÍCIOS** **2.16**

**CAPÍTULO 3 - MEDIÇÃO DE PRESSÃO** **3.1**

**1 – INTRODUÇÃO** **3.2**

**2 – CONCEITOS DE PRESSÃO** **3.2**

2.1 – Pressão Atmosférica	
2.2 – Pressão Relativa Positiva ou Manométrica	
2.3 – Pressão Absoluta	
2.4 – Pressão Relativa Negativa ou Vácuo	
2.5 – Diagrama comparativo da escalas	
2.6 – Pressão Diferencial	
2.7 – Pressão Estática	
2.8 – Pressão Dinâmica	
2.9 – Pressão Total	
2.10 – Unidades de Pressão	

**3 – DISPOSITIVOS PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO** **3.4**

3.1 – Tubo de Bourdon	
3.2 – Membrana ou Diafragma	
3.3 – Fole	
3.4 – Coluna de Líquido	
3.5 – Sensor Piezoelétrico	
3.6 – Sensor Strain Gauge (Célula de Carga) ou Piezoresistivo	
3.7 – Sensor Capacitivo	
3.8 – Sensor Silício Ressonante	

**4 – EXERCÍCIOS** **3.15**

**5 – TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO** **3.16**

**CAPÍTULO 4 - SELO REMOTO** **4.1**

**1 - TUBULAÇÃO DE IMPULSO** **4.2**

1.1 - INSTALAÇÃO	
1.2 - CONSTITUIÇÃO DA TUBULAÇÃO DE IMPULSO	

**2 - SISTEMAS DE SELAGEM** **4.5**

2.1 - SELO LÍQUIDO	
2.2 - SELO DE AR	
2.3 - SELO VOLUMÉTRICO	

2.4 - MANÔMETRO PETROQUÍMICO	
2.5 - SELO SANITÁRIO	
<b>3 – PURGA</b>	<b>4.7</b>
3.1 - PURGA COM GÁS	
3.2 - PURGA COM LÍQUIDO	
<b>4 - SANGRIA</b>	
<b>CAPÍTULO 5 - MEDIÇÃO DE NÍVEL</b>	<b>5.1</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>5.2</b>
<b>2 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE LÍQUIDO</b>	<b>5.2</b>
<b>2.1 – MEDIÇÃO DIRETA</b>	<b>5.2</b>
2.1.1 – RÉGUA OU GABARITO	
2.1.2 – VISORES DE NÍVEL	
2.1.3 – BÓIA OU FLUTUADOR	
<b>2.2 – MEDIÇÃO INDIRETA</b>	<b>5.4</b>
2.2.1 – MEDIÇÃO DE NÍVEL POR PRESSÃO	
2.2.2 – MEDIÇÃO DE NÍVEL POR PRESSÃO DIFERENCIAL EM TANQUES FECHADOS E PRESSURIZADOS	
2.2.3 – MEDIÇÃO DE NÍVEL COM BORBULHADOR	
2.2.4 – MEDIÇÃO DE NÍVEL POR EMPUXO	
2.2.5 – MEDIÇÃO DE NÍVEL COM RAIOS GAMA	
2.2.6 – MEDIÇÃO DE NÍVEL CAPACITIVO	
2.2.7 - MEDIÇÃO DE NÍVEL POR ULTRA-SOM	
2.2.8 - MEDIÇÃO DE NÍVEL POR RADAR	
<b>2.3 – MEDIDORES DESCONTÍNUOS DE NÍVEL</b>	<b>5.13</b>
<b>3 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE SÓLIDOS</b>	<b>5.14</b>
<b>4 – EXERCÍCIOS</b>	<b>5.16</b>
<b>CAPÍTULO 6 - MEDIÇÃO DE VAZÃO</b>	<b>6.1</b>
<b>1. CONCEITOS FÍSICOS BÁSICOS P/ MEDIÇÃO DE VAZÃO</b>	<b>6.2</b>
1.1 Calor Específico	
1.2 Viscosidade	
1.3 Número de Reynolds	
1.4 Distribuição de Velocidade em um Duto (Regimes Laminar e Turbulento)	
<b>2. TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO</b>	<b>6.4</b>
<b>2.1 - MEDIDORES DE QUANTIDADE</b>	<b>6.5</b>
2.1.1 - Medidores de Quantidade por Pesagem	
2.1.2 - Medidores de Quantidade Volumétrica	

<b>2.2 - MEDIDORES VOLUMÉTRICOS</b>	<b>6.6</b>
<b>2.2.1 - Medição de vazão pôr pressão diferencial</b>	<b>6.6</b>
<b>A) Placa de Orifício</b>	
A1) Tipos de Orifícios	
A2) Tipos de Bordo	
A3) Tipos de Tomada de Impulso	
<b>B) Orifício Integral</b>	
<b>C) Tubo Venturi</b>	
<b>D) Bocal</b>	
<b>C) Tubo Pitot</b>	
<b>D) Medidor Tipo Sonda Múltipla (Annubar)</b>	
<b>E) Malha para medição de vazão</b>	
<b>F) Compensação da Pressão e Temperatura</b>	
F1) Exemplos de instalação	
<b>2.2.2 - Medidores de Vazão por Pressão Diferencial Constante</b>	<b>6.18</b>
<b>A) Rotâmetros</b>	
A1) Princípio de Funcionamento	
A2) Condições de Equilíbrio	
A3) Tipos de Flutuadores	
A4) Material do flutuador	
A5) Instalação	
<b>3 – MEDIDORES DE VAZÃO EM CANAIS ABERTOS</b>	<b>6.20</b>
3.1 - Vertedor	
3.2 - Calha de Parshall	
<b>4 - MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO</b>	<b>6.21</b>
4.1 - Medidor Eletromagnético de Vazão	
4.1.1 - Aplicação	
4.1.2 - Princípio de Funcionamento: Lei de Faraday	
4.1.3 - Estrutura do Detetor	
4.1.3.1 - Revestimento	
4.1.3.2 - Eletrodo	
4.1.3.3 - Tubo detetor	
4.1.3.4 - Influência da condutividade	
4.1.3.5 - Instalação elétrica	
4.1.3.5.1 - Alimentação das bobinas	
4.1.3.5.2 - Formas de Excitação	
4.1.3.5.3 - Aterramento	
4.1.3.6- Escolha do diâmetro	
4.2 - Medidor Tipo Turbina	
4.2.1 - Influência da viscosidade	
4.2.2 - Performance	
4.3 - Medidor Tipo Vórtex	
4.3.1 - Princípio de funcionamento	
4.3.2 - Método de detecção dos vórtices	
4.4 - Medidores Ultra-sônicos	
4.4.1 - Medidores de efeito Doppler	
4.4.2 - Medidores de tempo de trânsito	
4.5 - Medidor por Efeito Coriolis	
<b>5 - DIMENSIONAMENTO</b>	<b>6.31</b>

<b>6- EXERCÍCIOS</b>	<b>6.32</b>
<b>CAPÍTULO 7 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA</b>	<b>7.1</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>7.3</b>
<b>1.1 - TEMPERATURA E CALOR</b>	<b>7.3</b>
1.1.1 - Condução	
1.1.2 – Radiação	
1.1.3 – Convecção	
<b>1.2 - ESCALAS DE TEMPERATURA</b>	<b>7.4</b>
1.2.1 - Escalas	
1.2.2 - Conversão de escalas	
1.2.3 - Escala Internacional de Temperatura - ITS-90	
1.2.4 – Normas	
<b>2 - MEDIDORES DE TEMPERATURA POR DILATAÇÃO/EXPANSÃO</b>	<b>7.7</b>
<b>2.1 - TERMÔMETRO A DILATAÇÃO DE LÍQUIDO</b>	<b>7.7</b>
2.1.1 - Características	
2.1.2 - Termômetros de dilatação de líquido em recipiente de vidro	
2.1.3 - Termômetro de dilatação de líquido em recipiente metálico	
<b>2.2 - TERMÔMETROS À PRESSÃO DE GÁS</b>	<b>7.10</b>
2.2.1 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	
<b>2.3 - TERMÔMETRO À PRESSÃO DE VAPOR</b>	<b>7.11</b>
2.3.1 - Princípio de funcionamento	
<b>2.4 - TERMÔMETROS À DILATAÇÃO DE SÓLIDOS (TERMÔMETROS BIMETÁLICOS)</b>	<b>7.12</b>
2.4.1 - Princípio de funcionamento	
2.4.2 - Características de construção	
<b>3 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA COM TERMOPAR</b>	<b>7.13</b>
<b>3.1 - EFEITOS TERMOELÉTRICOS</b>	
3.1.1 - EFEITO TERMOELÉTRICO DE SEEBECK	
3.1.2 - EFEITO TERMOELÉTRICO DE PELTIER	
3.1.3 - EFEITO TERMOELÉTRICO DE THOMSON	
3.1.4 - EFEITO TERMOELÉTRICO DE VOLTA	
<b>3.2 - LEIS TERMOELÉTRICAS</b>	
3.2.1 - Lei do circuito homogêneo	
3.2.2 - Lei dos metais intermediários	
3.2.3 - Lei das temperaturas intermediárias	
<b>3.3 - CORRELAÇÃO DA F.E.M. EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA</b>	
<b>3.4 - TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES</b>	
3.4.1 - Termopares básicos	
3.4.2 - Termopares nobres	
3.4.3 - Termopares especiais	
<b>3.5 - CORREÇÃO DA JUNTA DE REFERÊNCIA</b>	
<b>3.6 - FIOS DE COMPENSAÇÃO E EXTENSÃO</b>	
<b>3.7 - ERROS DE LIGAÇÃO</b>	
3.7.1 - Usando fios de cobre	
3.7.2 - Inversão simples	

- 3.7.3 - Inversão dupla
- 3.8 - TERMOPAR DE ISOLAÇÃO MINERAL**
- 3.8.1 - Vantagens dos termopares de isolamento mineral
- 3.9 - ASSOCIAÇÃO DE TERMOPARES
- 3.9.1 - Associação série
- 3.9.2 - Associação série – oposta
- 3.9.3 - Associação em paralelo

#### **4 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TERMORESISTÊNCIA (RTD) 7.25**

- 4.1 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**
- 4.2 - CONSTRUÇÃO FÍSICA DO SENSOR**
- 4.3 - CARACTERÍSTICAS DA TERMORESISTÊNCIA DE PLATINA**
- 4.4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS**
- 4.5 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO**
- 4.5.1 - Ligação à 2 fios
- 4.5.2 - Ligação à 3 fios

#### **5 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO 7.29**

- 5.1 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA**
- 5.1.1 - Hipóteses de Maxwell
- 5.1.2 - Ondas eletromagnéticas
- 5.1.3 - Espectro eletromagnético
- 5.2 - TEORIA DA MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO**
- 5.3 - PIRÔMETROS ÓPTICOS**
- 5.4 - RADIÔMETRO OU PIRÔMETROS DE RADIAÇÃO**

#### **6 - EXERCÍCIOS 7.35**

#### **CAPÍTULO 8 - ELEMENTOS FINAIS DE CONTROLE 8.1**

##### **1 - DEFINIÇÃO 8.3**

##### **2 - Válvulas de Controle 8.3**

- 2.1 - PARTES PRINCIPAIS DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE**
- 2.2 - ATUADOR**
- 2.3 - CORPO**

##### **3 - Válvulas de Deslocamento Linear da Haste 8.5**

- 3.1- VÁLVULAS GLOBO**
- 3.1.1 - Válvulas Globo Sede Simples
- 3.1.2 - Válvula Globo Sede Dupla
- 3.2 - VÁLVULA GLOBO TIPO GAIOLA**
- 3.2.1 - Válvula Globo Tipo Gaiola Sede Simples
- 3.2.2 - Válvula Globo Tipo Gaiola Balanceada
- 3.3 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO DIAFRAGMA OU SAUNDERS**
- 3.4 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO GUILHOTINA**

##### **4 - Válvulas de Deslocamento Rotativo da Haste 8.11**

- 4.1 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO BORBOLETA**
- 4.2 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO ESFERA**
- 4.3 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO OBTURADOR ROTATIVO - EXCÊNTRICO**

<b>5. INTERNOS DAS VÁLVULAS</b>	<b>8.16</b>
<b>5.1 - OBTURADOR</b>	
5.1.1 - Tipos de Obturadores	
5.1.2 - Obturadores Torneados	
5.1.3 - Obturadores com entalhes em “ V ”	
5.1.4 - Obturadores Simples Estriados ou Perfilados	
5.1.5 - Obturadores de Abertura Rápida	
5.1.6 - Obturadores com Disco ou O-Ring	
<b>5.2 - OBTURADORES TIPO GAIOLA</b>	
<b>5.3 - ANEL DE SEDE</b>	
<b>6 - CASTELO</b>	<b>8.19</b>
<b>6.1 - TIPOS PRINCIPAIS</b>	
<b>6.2 - CASTELO NORMAL</b>	
<b>6.3 - CASTELO ALETADO</b>	
<b>6.4 - CASTELO ALONGADO</b>	
<b>6.5 - CASTELO COM FOLE</b>	
<b>7 - Caixa de Gaxetas</b>	<b>8.21</b>
<b>8 - Gaxetas</b>	<b>8.22</b>
<b>8.1 - TEFLON ( TFE )</b>	
<b>8.2 - AMIANTO IMPREGNADO</b>	
<b>9 - CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO</b>	<b>8.23</b>
<b>9.1 - INTRODUÇÃO</b>	
<b>9.2 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO</b>	
<b>9.3 - ALCANCE DE FAIXA DA VÁLVULA</b>	
<b>9.4 - CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO INERENTES</b>	
<b>9.5 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO INSTALADA DAS VÁLVULAS DE CONTROLE</b>	
<b>10 - Coeficiente de Vazão ( CV )</b>	<b>8.25</b>
<b>11 – Posicionadores</b>	<b>8.25</b>
<b>11.1 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO POSICIONADOR EM VÁLVULAS</b>	
<b>11.2 - LIMITAÇÕES DO USO DO POSICIONADOR</b>	
11.2.1 – Exemplo de posicionador pneumático	
11.2.2 – Exemplo de posicionador eletropneumático	
<b>11.3 - POSICIONADOR INTELIGENTE</b>	
11.3.1- Vantagens do posicionador inteligente	
<b>CAPÍTULO 9 - MEDIÇÃO DE OUTRAS VARIÁVEIS</b>	<b>9.1</b>
<b>1 - MEDIÇÃO DE DENSIDADE</b>	<b>9.1</b>
A) Conceitos	
B) Métodos de Medição de Densidade	
▪ Densímetros	
▪ Medidor de Densidade por Pressão Hidrostática	
▪ Medição Contínua de Densidade e Concentração	
▪ Medição de Concentração	
▪ Nível de Interface	
▪ Instalação Típica em Linha	
▪ Instalação Típica para Nível de Interface	
▪ Características e Benefícios / Comparação com outras Tecnologias	

---

<b>2 - MEDIÇÃO DE PH</b>	<b>9.9</b>
A) Conceitos	
B) Método de Medição	
C) Instrumentos de Medição	
▪ Eletrodo de Medição	
▪ Eletrodo de Referência	
D) Aplicações	

<b>CAPÍTULO 10 – INTRODUÇÃO AO CONTROLE DE PROCESSO</b>	<b>10.1</b>
---	-------------

<b>1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>10.2</b>
-----------------------	-------------

1.1–EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONTROLE DE PROCESSO	
--	--

<b>2 – CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES BÁSICAS DE CONTROLE DE PROCESSO</b>	<b>10.3</b>
--	-------------

<b>CAPÍTULO 11 – DEMOSTRAÇÃO DA PLANTA DIDÁTICA (PD3 – SMAR)</b>	
--	--

<b>1 – Sensores, Transmissores, Medições das Variáveis e Malhas de Controle</b>	
---	--

OBS: Estas atividades práticas só serão realizadas no local onde estará disponível a planta piloto, ou seja no próprio Centro de Treinamento da Smar em Sertãozinho/SP.

<b>- TABELAS DE TERMOPARES (TC)</b>	
-------------------------------------	--

<b>- TABELAS DE TERMORESISTÊNCIAS (RTD)</b>	
---	--

<b>- REFERÊNCIAS</b>	
----------------------	--

---

## **CAPÍTULO 1: CONCEITOS BÁSICOS DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE**

### **1 – INTRODUÇÃO**

1 - MALHA DE CONTROLE FECHADA

### **2 - DEFINIÇÕES EM INSTRUMENTAÇÃO**

- 2.1 - CLASSES DE INSTRUMENTOS
- 2.2 - FAIXA DE MEDIDA ( RANGE )
- 2.3 - ALCANCE ( SPAN )
- 2.4 - ERRO
- 2.5 - REPETITIVIDADE
- 2.6 - EXATIDÃO
- 2.7 - RANGEABILIDADE ( LARGURA DE FAIXA )
- 2.8 - TERMINOLOGIA
- 2.9 - SÍMBOLOS UTILIZADOS NOS FLUXOGRAMAS DE PROCESSO
- 2.10 - SIMBOLOGIA GERAL EM INSTRUMENTAÇÃO
- 2.11 - TABELA DE IDENTIFICAÇÃO FUNCIONAL DOS INSTRUMENTOS

### **3 - PRINCIPAIS SISTEMAS DE MEDIDA**

- 3.1 - SISTEMA MÉTRICO DECIMAL
- 3.2 - SISTEMA FÍSICO OU CEGESIMAL
- 3.3 - SISTEMA INDUSTRIAL FRANCÊS
- 3.4 - SISTEMA PRÁTICO OU GRAVITATÓRIO
- 3.5 - SISTEMAS INGLESES

### **4 - EXERCÍCIOS**

### **5 - APÊNDICE**

TABELA 1 - SISTEMAS DE UNIDADES GEOMÉTRICAS E MECÂNICAS  
DIAGRAMA DE VAZÃO TÍPICO

## INTRODUÇÃO

Os processos industriais exigem controle na fabricação de seus produtos. Os processos são muito variados e abrangem muitos tipos de produtos como pôr exemplo: a fabricação dos derivados do petróleo, produtos alimentícios, à indústria de papel e celulose, etc.

Em todos estes processos é absolutamente necessário controlar e manter constantes algumas variáveis, tais como pressão, vazão, temperatura, nível, pH, condutividade, velocidade, umidade, etc. Os instrumentos de medição e controle permitem manter constante as variáveis do processo com os seguintes objetivos: melhoria em qualidade do produto, aumento em quantidade do produto, segurança e melhoria do meio ambiente.

No princípio da era industrial, o operário atingia os objetivos citados através de controle manual destas variáveis utilizando somente instrumentos simples, manômetro, termômetro e válvulas manuais, etc. e isto era suficiente porque os processos eram simples.

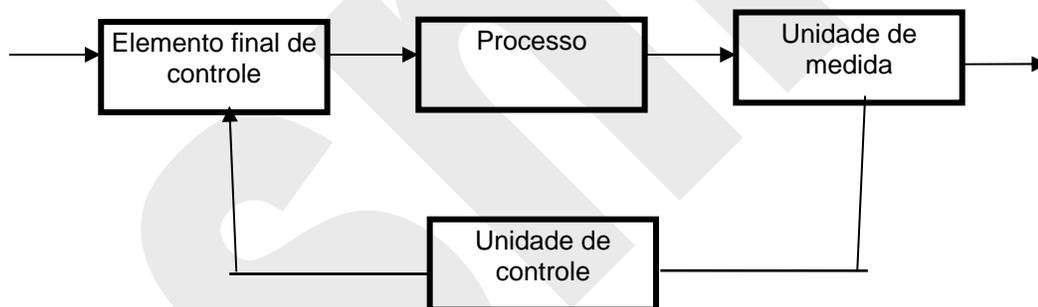
Com o passar do tempo os processos foram se complicando exigindo um aumento da automação nos processos industriais, através dos instrumentos de medição e controle. Enquanto isto os operadores iam se liberando de sua atuação física direta no processo e ao mesmo tempo ia permitindo a centralização das variáveis em uma única sala.

Devido à centralização das variáveis do processo podemos fabricar produtos que seriam impossíveis através do controle manual. Mas para atingir o nível que estamos hoje, os sistemas de controle sofreram grandes transformações tecnológicas como veremos a seguir: controle manual, controle mecânico e hidráulico, controle pneumático, controle elétrico, controle eletrônico e atualmente controle digital.

Os processos industriais podem dividir-se em dois tipos: processos contínuos e processos descontínuos. Em ambos os tipos, devem-se manter as variáveis próximo aos valores desejados.

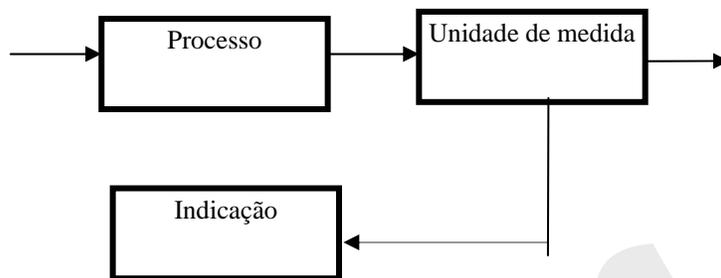
O sistema de controle que permite fazer isto é definido como aquele que compara o valor da variável do processo com o valor desejado e toma uma atitude de correção de acordo com o desvio existente sem que a operação intervenha.

Para que se possa fazer esta comparação e conseqüentemente a correção é necessário que se tenha uma unidade de medida, uma unidade de controle e um elemento final de controle no processo.



**1.1 - Malha de Controle Fechada**

Este conjunto de unidades forma uma malha de controle. A malha de controle pode ser aberta ou fechada. No exemplo acima vemos uma malha de controle fechada e no exemplo da próxima página vemos uma malha de controle aberta.



**Malha de Controle Aberta**

## 2 - DEFINIÇÕES EM INSTRUMENTAÇÃO

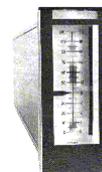
Os instrumentos de controle empregados na indústria de processos tais como, química, siderúrgica, papel, etc. tem sua própria terminologia. Os termos utilizados definem as características próprias de medida e controle dos diversos instrumentos utilizados: indicadores, registradores, controladores, transmissores e válvulas de controle.

A terminologia empregada é unificada entre os fabricantes e os usuários e os organismos que intervêm diretamente ou indiretamente no campo da instrumentação industrial.

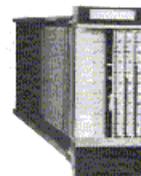
### 2.1 - Classes de Instrumentos

Podemos classificar os instrumentos e dispositivos utilizados em instrumentação de acordo com a função que o mesmo desempenha no processo.

a) Indicador: Instrumento que dispõe de um ponteiro e de uma escala graduada na qual podemos ler o valor da variável. Existem também indicadores digitais que indicam a variável em forma numérica com dígitos ou barras gráficas.



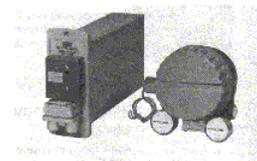
b) Registrador: Instrumento que registra a (s) variável (s) através de um traço contínuo ou pontos em um gráfico.



c) Transmissor: Instrumento 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.



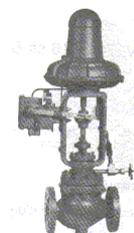
d) Transdutor: Instrumento que recebe informações na forma de uma ou mais quantidades físicas, modifica caso necessário às informações e fornece um sinal de saída resultante. Dependendo da aplicação, o transdutor pode ser um elemento primário, um transmissor ou outro dispositivo. O conversor é um tipo de transdutor que trabalha apenas com sinais de entrada e saída padronizados.



e) **Controlador:** Instrumento que compara a variável controlada com um valor desejado e fornece um sinal de saída a fim de manter a variável controlada em um valor específico ou entre valores determinados. A variável pode ser medida, diretamente pelo controlador ou indiretamente através do sinal de um transmissor ou transdutor.



f) **Elemento Final de Controle:** Instrumento que modifica diretamente o valor da variável manipulada de uma malha de controle.



**OBS:** Também são classificados em instrumentos de painel, de campo, à prova de explosão, de poeira, de líquidos, etc. Combinações dessas classificações são efetuadas formando instrumentos conforme as necessidades.

## 2.2 - Faixa de Medição (Range)

Conjunto de valores da variável medida que estão compreendidos dentro do limite superior e inferior da capacidade de medida ou de transmissão do instrumento. Se expressa determinando os valores extremos. Exemplos: 100 a 500°C ou 0 a 20 PSI ou 0 a 60 m<sup>3</sup>/h, etc.

## 2.3 - Alcance (SPAN)

É a diferença algébrica entre o valor superior e inferior da faixa de medida do instrumento. Exemplos: Um instrumento com range de 100 - 500°C. Seu Span é de 400°C. Ou um transmissor de pressão, cujo range é de - 30 a +30 mm.c.a., seu span será de 60 mm.c.a.

## 2.4 - Erro

É a diferença entre o valor lido ou transmitido pelo instrumento em relação ao valor real da variável medida. Se tivermos o processo em regime permanente chamaremos de erro estático que poderá ser positivo ou negativo dependendo da indicação do instrumento o qual poderá estar indicando a mais ou menos.

Quando tivermos a variável alterando seu valor ao longo do tempo teremos um atraso na transferência de energia do meio para o medidor. O valor medido estará geralmente atrasado em relação ao valor real da variável. Esta diferença entre o valor real e o valor medido é chamado de erro dinâmico.

## 2.5 - Repetitividade

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

## 2.6 - Exatidão

Podemos definir como sendo a aptidão de um instrumento de medição para dar respostas próximas a um valor verdadeiro.

A exatidão pode ser descrita de três maneiras:

- ❶ Percentual do Fundo de Escala (% do F.E.).

- ❷ Percentual do Span (% do Span).
- ❸ Percentual do Valor Lido (% do V.L.).

Exemplo: Para um sensor de temperatura com Range de 50 a 250 °C, o valor medido é 100 °C. Determine o intervalo provável do valor real para as seguintes condições:

a) Exatidão 1% do Fundo de Escala

$$\text{Valor real} = 100 \text{ °C} \pm (0,01 \cdot 250) = 100 \text{ °C} \pm 2,5 \text{ °C}$$

b) Exatidão 1% do Span

$$\text{Valor real} = 100 \text{ °C} \pm (0,01 \cdot 200) = 100 \text{ °C} \pm 2,0 \text{ °C}$$

c) Exatidão 1% do Valor Lido (Instantâneo)

$$\text{Valor real} = 100 \text{ °C} \pm (0,01 \cdot 100) = 100 \text{ °C} \pm 1,0 \text{ °C}$$

## 2.7 – Rangeabilidade (Largura de Faixa)

É a relação entre o valor máximo e o valor mínimo lido com a mesma exatidão na escala de um instrumento. Exemplo: Para um sensor de vazão cuja escala é 0 a 300 GPM, com exatidão de 1% do Span e rangeabilidade 10: 1 significa que a exatidão será respeitada entre os valores de 30 e 300 GPM.

## 2.8 - Terminologia

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 identificada 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.

Eventualmente, para completar a identificação, poderá ser acrescentado um sufixo.

A figura na próxima página mostra um exemplo de instrumento identificado de acordo com a norma pré-estabelecida.

P	RC	001	02	A
Variável	Função	Área da Atividade	Nº Sequencial da Malha	S U F I X O
Identificação Funcional		Identificação da Malha		
Identificação do Instrumento				

Onde:

- P - Variável medida - Pressão
- R - Função passiva ou de informação - Registrador
- C - Função ativa ou de saída - Controlador
- 001 - Área de atividade, onde o instrumento atua
- 02 - Número seqüencial da malha
- A - Sufixo

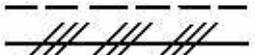
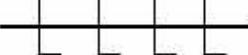
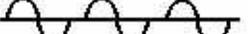
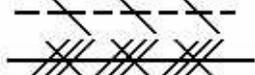
De acordo com a tabela da próxima página, podem obter combinações possíveis de acordo com o funcionamento dos dispositivos automáticos.

Exemplos:

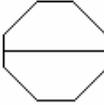
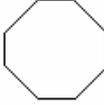
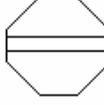
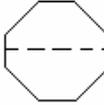
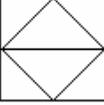
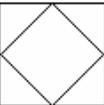
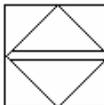
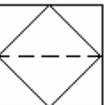
T - Temperatura  
R - Registrador  
C - Controlador  
P - Pressão  
I - Indicador

F - Vazão  
C - Controladora  
V - Válvula  
L - Nível  
G - Visor

## 2.9 - Símbolos Utilizados nos Fluxogramas de Processo

	Suprimimento 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

2.10 - Simbologia Geral em Instrumentação

	Painel Principal Acessível ao operador	Montado no Campo	Painel Auxiliar Acessível ao operador	Painel Auxiliar Não acessível ao operador
<b>Instrumentos Discretos</b>				
<b>Instrumentos Compartilhados</b>				
<b>Computador de Processo</b>				
<b>Controlador Lógico Programável</b>				

## 2.11 - Tabela de Identificação Funcional dos Instrumentos

1ª LETRA			LETRAS SUCESSIVAS		
	Variável Medida	Letra de Modificação	Função de Leitura Passiva	Função de Saída	Letra de Modificação
A	Analizador		Alarme		
B	Queimador (Chama)				
C	Condutibilidade Elétrica			Controlador	
D	Densidade ou Peso Específico	Diferencial			
E	Tensão (Fem)		Elemento Primário		
F	Vazão	Relação			
G	Medida Dimensional		Visor		
H	Comando Manual				Alto
I	Corrente Elétrica		Indicação ou Indicador		
J	Potência	Varredura			
K	Tempo ou Programa			Estação de Controle	
L	Nível		Lâmpada Piloto		Baixo
M	Umidade				Médio ou Intermediário
O			Placa de Orifício		
P	Pressão		Tomada de Impulso		
Q	Quantidade	Integração			
R	Radioatividade		Registrador		
S	Velocidade ou Freqüência	Segurança		Chave ou Interruptor	
T	Temperatura			Transmissão Transmissor	
U	Multivariáveis		Multifunção	Multifunção	Multifunção
V	Viscosidade			Válvula	
W	Peso ou Força		Poço		
Y				Relê ou Computador	
Z	Posição			Elemento Final de Controle	

### 3 - PRINCIPAIS SISTEMAS DE MEDIDA

Os sistemas podem ser classificados quanto à natureza de suas unidades fundamentais, quanto ao valor dessas unidades e também quanto às relações escolhidas na determinação dos derivados.

- **Quanto à Natureza:** Dois são os sistemas principais: L.M.T. e L.F.T.

a) **L.M.T.** - Tem como grandezas fundamentais:

comprimento = L

massa = M

tempo = T

b) **L.F.T.** - Tem como grandezas fundamentais:

comprimento = L

força = F

tempo = T

- **Quanto ao Valor Atribuído:** As unidades fundamentais, temos:

a) Tipo **L.M.T.**

1º Físico ou Cegesimal (C.G.S.): centímetro, grama, segundo.

2º Industrial Francês (M.T.S.): metro, tonelada, segundo.

3º Métrico Decimal (M.K.S.): metro, quilograma, segundo.

4º Absoluto Inglês (Ft, Pd, S): pé, libra, segundo.

b) Tipo **L.F.T.**

1º Prático, Terrestre ou Gravitatório (M. Kgf. S.): metro, quilograma força, segundo.

2º Prático Inglês (Ft, Pd, Sec): pé, libra-força, segundo.

- **Quanto às Relações:** Se forem escolhidas na derivação, pode haver, às vezes, liberdade de escolha. Citaremos como exemplo, a unidade de volume.

#### 3.1 - Sistema Métrico Decimal

Criado oficialmente no ano de 1.795, passou a ser obrigatório na França, a partir de 1.840. No Brasil, foi oficializado a partir de 1.862. Tem como unidades fundamentais o metro, o quilograma e o segundo (M.K.S.).

- **Metro:** Inicialmente foi definido como distância correspondente à décima milionésima parte de um quarto do meridiano terrestre.

Atualmente é definido em função do padrão depositado no Gabinete Internacional de Pesos e Medidas, em Sèvres, França.

- **Quilograma:** Inicialmente, foi definido como a massa de um decímetro cúbico de água destilada, considerada a 40°C. Hoje, é definido em função do padrão, também em Sèvres, adotado como quilograma - padrão.

- **Segundo:** Fração de tempo correspondente a 1/86400 o dia solar médio.

### 3.2 - Sistema Físico ou Cegesimal

Criado pelo 1<sup>o</sup> Congresso Internacional de Eletricistas, reunido em Paris, em 1.881, que aprovou proposta de Lord Kelvin. Tem como unidades fundamentais o centímetro, o grama e o segundo (C.G.S.).

- **Centímetro:** Centésima parte do metro - padrão.
- **Gramma:** Milionésima parte da massa do quilograma - padrão.
- **Segundo:** Tem a mesma definição citada anteriormente.

### 3.3 - Sistema Industrial Francês

Tem como unidades fundamentais o metro, a tonelada e o segundo (M.T.S.), definidas em função do sistema métrico decimal.

### 3.4 - Sistema Prático ou Gravitatório

Sancionado em 1.901 pela 3<sup>a</sup> Conferência Geral de Pesos e Medidas, surgiu pelo desvirtuamento do sistema decimal, em conseqüência da confusão entre peso e massa. A unidade de massa do sistema decimal, definida em função da massa do decímetro cúbico de água, passou a ser considerada como peso do decímetro cúbico de água.

Como sabemos, o peso é uma força que varia de um lugar para outro, em função da gravidade. As derivadas do sistema decimal foram, no entanto, estabelecidas em função do quilograma - peso e não do quilograma - massa, como deveria ser. As verdadeiras derivadas do sistema decimal nunca foram usadas e as definidas em função do quilograma - peso tornaram-se de uso universal. Em 1901, fixou-se então, o valor do quilograma - peso e ficou oficializado o sistema. Suas unidades fundamentais são: o metro, o quilograma - força e o segundo (M. Kgf. S).

**OBS:** O quilograma - força é o peso do quilograma - padrão na latitude de 45<sup>o</sup> ou força que, atuando sobre a massa do quilograma - padrão, imprime-lhe a aceleração de 9,80665 metros pôr segundo, em cada segundo. O metro e o segundo são do sistema decimal.

### 3.5 - Sistemas Ingleses

Enquanto as diversas nações foram sucessivamente oficializando o sistema decimal com exclusão de qualquer outro, as nações da língua inglesa, tornaram-no legal apenas, conservando, no entanto o sistema tradicionalmente em uso. Devemos considerar na Inglaterra o sistema absoluto e o prático.

#### 3.5.1 - Sistema Absoluto

Tem como unidades fundamentais: o pé (foot), a libra (pound) e o segundo (second).

**a) Foot:** Um terço da distância entre os eixos de dois traços paralelos gravados transversalmente numa barra de bronze, reconhecida como a Imperial Standard Yard (Jarda Padrão) e depositada no Board of Trade, em Londres. A medida deve ser efetuada a temperatura de 62<sup>o</sup>F. Divide-se em 12 polegadas (inches) e equivale a 0,3048 metros.

**b) Pound:** Massa de um cilindro de platina iridiada reconhecida como a Imperial Standard Pound (libra-padrão) e depositada na Board of Trade, em Londres. Divide-se em 16 onças e equivale a 453,592 gramas.

**c) Second:** É a mesma fração de tempo dos outros sistemas.

### 3.5.2 - Sistema Prático

Surgiu da mesma confusão entre peso e massa que originou a deturpação do sistema métrico - decimal. É o sistema realmente usado e a libra - peso assim se define:

**a) Pound Force:** É o peso Imperial Standard Pound na latitude de  $45^{\circ}$  ou é a força que atuando sobre a massa da Imperial Standard Pound lhe imprime a aceleração de 32,174 m/seg.

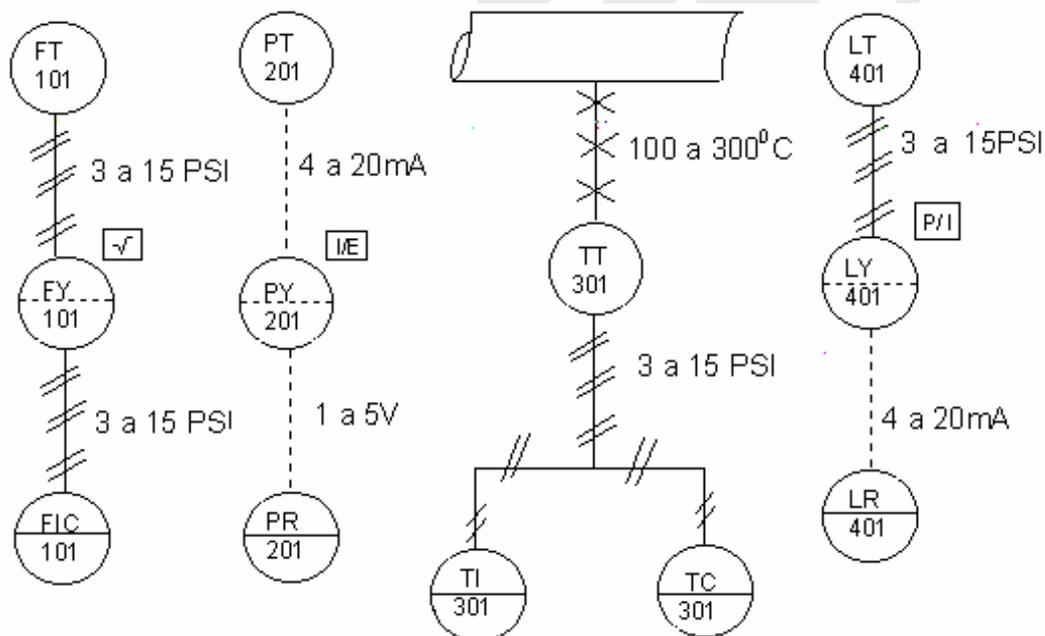
#### 4 - EXERCÍCIOS:

1 - Qual a função de cada um dos instrumentos abaixo, de acordo com a sua identificação.

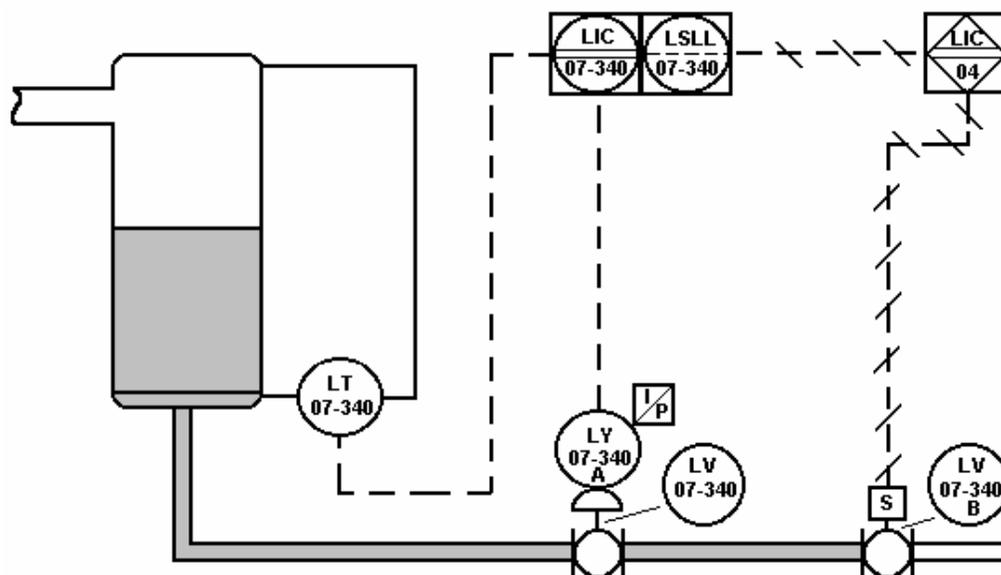
- a) FIC -
- b) TI -
- c) TSL -
- d) PSL -
- e) TT -
- f) PIC -
- g) LT -
- h) FSHH -
- i) LSH -
- j) FY -

2 - Defina a localização dos equipamentos e tipos de sinais de transmissão de cada malha de controle, além da sua função (equipamento).

a)



b)

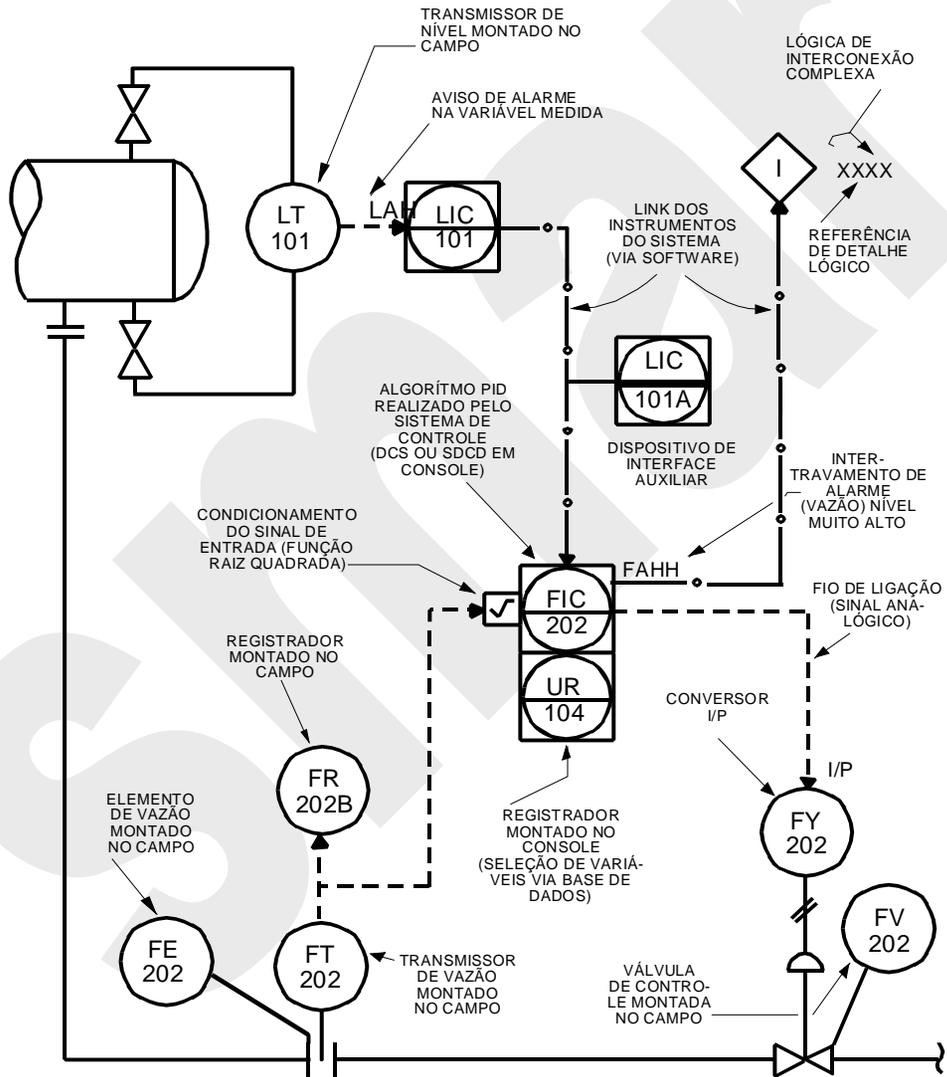


## 1.5 – APÊNDICE:

Grandezas	Definição	Dimensão	Físico (C.G.S.)	Decimal (M.K.S.)	Gravitatório (M.Kgf.S)	Prático Inglês
Comprimento	L	L	centímetro (cm)	metro (m) Mícron ( $\mu$ )= $10^{-6}$ m Angstrom (A)= $10^{-10}$ m	metro (m)	foot (ft) =1/3 Yd = 12in 30,48 cm
Massa	M	M	grama (g)	quilograma (kg)	(9,81 kg)	(32,174 pd)
Tempo	T	T	segundo (seg.)	segundo (seg.)	segundo (9seg)	second (sec)
Superfície	$S^2$	$S^2$	$cm^2$	$m^2$	$m^2$	square-foot=929 $cm^3$ square-inch=6,45 $cm^2$
Volume	$V^3$	$V^3$	$cm^3$	$m^3$	$m^3$	cubic-foot=28317 $cm^3$ cubic-inch=16,39 $cm^3$
Velocidade	$v = \frac{e}{t}$	$LT^{-1}$	cm/seg	m/seg	m/seg 1m/seg=197 ft/min	foot per second (ft/sec) ft/min=0,5076 cm/s
Aceleração	$y = \frac{v}{t}$	$LT^{-2}$	cm/seg <sup>2</sup>	m/seg <sup>3</sup>	m/seg <sup>2</sup>	ft/sec <sup>2</sup>
Força	$F = m y$	$M L T^{-2}$	dina (d) (m=1 g;y=1 cm/ss) Megadina (M) = $10^9$ dinas	GIORGI Newton (n) (m=1kg;y=1m/seg <sup>2</sup> ) = $10^5$ d	quilograma - força(kgf) (m=1kg;y=9,81m/seg <sup>2</sup> ) $\times 10^3 \times 981 =$ dinas $\times 10^{-3} \times 9,81 =$ sth	pound (pd) (m=1pd;y=32,174 ft/sec <sup>2</sup> ) =0,4536kgf=444981d =7000 grains
Trabalho	$\Sigma = F \times e$	$M S^2 T^{-3}$	erg (F=1 d; e = 1cm)	Joule (j) F=1 n; e=1m) = $10^2$ ergs	quilogrâmetro (kgm) (F=1kgf; e = 1m) = 9,81 Joules	foot - pound (ft.pd) (f = 1 pd; e = 1 ft) =0,1383kgm=1,3563 j
Potência	$W = \frac{\Sigma}{t}$	$M S^2 T^{-3}$	erg/seg ( $\Sigma=1$ erg;t=1seg)	Watt (w) ( $\Sigma=1$ j; 1= 1seg) = $10^2$ ergs/seg = 44,8 ft. pd/min	kgm/seg Cavalo-vapor (C.V.) = 75 Kgm/seg = 736 watts	foot pound per second Horse Power (H.P.) = 76kgm/seg (75) =33000 ft.pd/min
Pressão	$P = \frac{F}{A}$	$M L^{-1} T^{-2}$	bária (F=1 d; $S^2=1$ $cm^2$ ) Bar = $10^9$ bárias (F=1M; $s^2=1$ $cm^2$ )	Pascal F= 1n; $S^2=1$ $m^2$ ) = 10 bárias	kgf/cm <sup>2</sup> =1000 gf/cm <sup>2</sup> kgf/m <sup>2</sup> atm = 1033 gf/cm <sup>2</sup> (em Hg = 76cm)	pd/in <sup>2</sup> =70.308 gf/cm <sup>2</sup> pd/ft <sup>2</sup> atm = 11.692 pd/in <sup>2</sup> (em Hg = 0 n)

Tabela 1 - Sistemas de Unidades Geométricas e Mecânicas

**APÊNDICE "A" - DIAGRAMA DE VAZÃO TÍPICO  
MALHA DE CONTROLE CASCATO**



INSFLO01.WPG

smar

---

## **CAPÍTULO 2: TELEMETRIA**

### **1 – TRANSMISSORES**

1.1 - TRANSMISSÃO PNEUMÁTICA

1.2 - TRANSMISSÃO ELETRÔNICA

1.2.1 – TRANSMISSOR A 2 FIOS

1.2.2 – TRANSMISSOR A 4 FIOS

### **2 – SINAIS DIGITAIS**

#### **2.1 - Noções em Transmissão de Dados**

A) Comunicação Paralela

B) Comunicação Serial

C) Tipos de Modulação

C.1) Modulação Analógica e Digital

D) Velocidade de Transmissão

#### **2.2 – REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAIS**

INTRODUÇÃO

REDES DE CAMPO

2.2.1 – REDE AS-I ( ACTUADOR & SENSOR INTERFACE )

2.2.2 – REDE DEVICENET

2.2.3 – REDES PROFIBUS

2.2.3.1 – REDE PROFIBUS - DP ( DESCENTRALIZED PERIPHERIA )

2.2.3.2 – REDE PROFIBUS - PA ( PROCESS AUTOMATION )

2.2.4 - PROTOCOLO HART

2.2.5 – REDE FIELDBUS FOUNDATION

### **3 - EXERCÍCIOS**

## TELEMETRIA

Chamamos de Telemetria à técnica de transportar medições obtidas no processo à distância, em função de um instrumento transmissor.

A transmissão à distância dos valores medidos está tão intimamente relacionada com os processos contínuos, que a necessidade e as vantagens da aplicação da telemetria e do processamento contínuo se entrelaçam.

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 sala de controle.

Teremos, a partir daqui, inúmeras vantagens, as quais não são difíceis de imaginar:

a) Os instrumentos agrupados podem ser consultados mais facilmente e rapidamente, possibilitando à operação uma visão conjunta do desempenho da unidade.

b) Podemos reduzir o número de operadores com simultâneo aumento da eficiência do trabalho.

c) Cresce consideravelmente a utilidade e a eficiência dos instrumentos face às possibilidades de pronta consulta, manutenção e inspeção, em situação mais acessível, mais protegida e mais confortável.

### 1 - Transmissores

Os transmissores são instrumentos que medem uma variável do processo e a transmitem, à distância, a um instrumento receptor, indicador, registrador, controlador ou a uma combinação destas.

Existem vários tipos de sinais de transmissão: pneumáticos, elétricos, hidráulicos e eletrônicos.

#### 1.1 - Transmissão Pneumática

Em geral, os transmissores pneumáticos geram uns sinais pneumáticos variável, lineares, de 3 a 15 PSI (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 adotada pela maioria dos fabricantes de transmissores e controladores dos Estados Unidos. Podemos, entretanto, encontrar transmissores com outras faixas de sinais de transmissão. Por exemplo: de 20 a 100 kPA.

Nos países que utilizam o sistema métrico decimal, utilizam-se as faixas de 0,2 a 1 Kgf/cm<sup>2</sup> que equivalem aproximadamente de 3 a 15 PSI.

O alcance do sinal no sistema métrico é aproximadamente 5% menor que o sinal de 3 a 15 PSI, sendo este um dos motivos pelo qual adotamos que devemos calibrar os instrumentos de uma malha (transmissor, controlador, elemento final de controle, etc.), todos utilizando uma mesma norma.

Note também que o valor mínimo do sinal pneumático também não é zero, e sim, 3 PSI ou 0,2 Kgf / cm<sup>2</sup>; deste modo, conseguimos calibrar corretamente o instrumento, comprovando sua correta calibração e detectando vazamentos de ar nas linhas de transmissão.

Também podemos ver que se tivéssemos um transmissor pneumático de temperatura de range de 0 a 200<sup>o</sup>C e o mesmo tivesse com o bulbo a 0<sup>o</sup>C e com um sinal de saída de 1 psi, o mesmo estaria descalibrado.

Se o valor mínimo de saída fosse 0 PSI, não seria possível fazermos esta comparação rapidamente e, para que pudéssemos detectá-lo, teríamos de esperar um aumento de temperatura para que tivéssemos um sinal de saída, o qual seria incorreto.

#### 1.2 - Transmissão Eletrônica

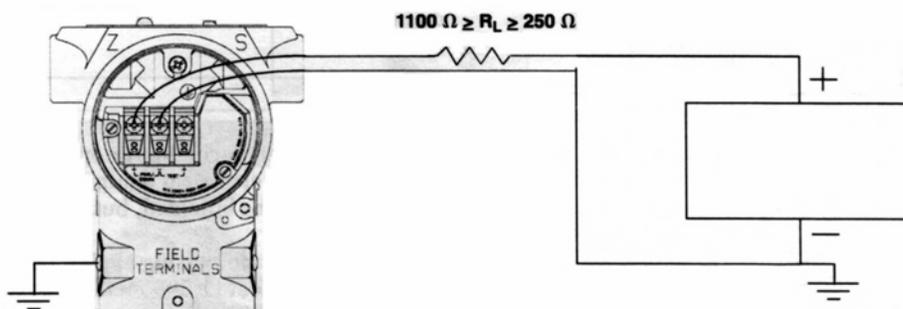
Os transmissores eletrônicos geram vários tipos de sinais: 4 a 20 mA, 10 a 50 mA e 1 a 5 Vdc em painéis, sendo estes os mais utilizados. Temos estas discrepâncias nos sinais de saída entre diferentes fabricantes devido a estes instrumentos estarem preparados para uma fácil mudança do seu sinal de saída.

A relação de 4 a 20 mA, 1 a 5 Vdc está na mesma relação de um sinal de 3 a 15 PSI de um sinal pneumático.

O “zero vivo” utilizado quando adotamos o valor mínimo de 4 mA, oferece a vantagem também de podermos detectar uma avaria (rompimento dos fios), que provocará a queda do sinal, quando o mesmo estiver em seu valor mínimo.

### 1.2.1 – Transmissor a 2 fios

Este tipo de transmissor é utilizado quando o mesmo cabo, com 2 condutores e normalmente uma malha de terra, serve para alimentar o instrumento com 24 Vdc e também para transmitir o sinal de corrente de 4 a 20 mA. A figura a baixo mostra um exemplo de transmissor a 2 fios.



### 1.2.2 – Transmissor a 4 fios

Este tipo de transmissor é utilizado quando o transmissor é alimentado com 110 Vac ou 220 Vac, portanto, precisa de um cabo de alimentação independente e um cabo de sinal de corrente de 4 a 20 mA também independente. A figura a seguir mostra um exemplo de transmissor a 4 fios.

Alimentação 110 Vac  
Saída digital  
Saída 4 – 20 mA



## 2 - SINAIS DIGITAIS

### 2.1 – Noções em Transmissão de Dados

#### A) Comunicação Paralela

A comunicação paralela é normalmente utilizada para a troca de informações entre computadores e demais sistemas digitais de alta velocidade quando separados fisicamente em locais próximos, isto é, com poucos metros de separação. Por exemplo, impressoras de linha que utilizam interface de comunicação paralela, devem ficar numa distância máxima de até 15 metros do computador. Considerando-se um carácter composto por oito bits, para realizar-se uma transmissão paralela, necessitaremos obrigatoriamente de oito vias para a transmissão. Para tanto é necessário dispormos de uma interface paralela, que é dotada de várias vias que permitem a transferência simultânea de informações, além de permitir também a troca de sinais elétricos, que controlam o fluxo das mesmas. Das interfaces paralelas mais conhecidas, temos a padrão Centronics possuidora de 36 pinos e a Data Products, similar à anterior.

#### B) Comunicação Serial

A transmissão serial é o processo pelo qual, bit a bit, é transmitido de forma sequencial por uma única linha física. O conjunto de um determinado número de bits, forma um carácter.

Podemos classificar a transmissão serial em dois tipos:

- ◆ **Transmissão Serial Assíncrona:** o modo assíncrono trata cada carácter separadamente, transmitindo-o como se fosse um pacote isolado de informação. A sincronização é realizada por bits sinalizadores de partida (Start bit) e de parada (Stop bit). É um bom sistema para transmitir informações em intervalos não frequentes.
- ◆ **Transmissão Serial Síncrona:** na transmissão serial síncrona, os bits de um carácter são seguidos por outros bits do próximo carácter, não havendo os start bits e os stop bits. O sincronismo da transmissão é conseguido através do envio de um carácter ou caracteres de sincronismo, os quais mantêm os osciladores do transmissor e do receptor em fase. Quando o volume de informação a ser transmitida é grande, usa-se este modo de transmissão, não só pelo fato de se conseguir velocidades mais altas bem como pela possibilidade de se proteger melhor os dados transmitidos, uma vez que nesse tipo de transmissão há caracteres para detecção de erros.

Padrões de Interfaces de Comunicação: para se garantir o procedimento na conexão entre as máquinas, houve a necessidade de se normalizar padrões elétricos para os sinais digitais a serem transportados.

**EIA-232C:** Devido a não ser uma interface digital de tensão balanceada, e sua saída não pode ficar em alta impedância (Tri-state), só é possível em aplicações que se restringem a pequenas distâncias, baixas taxas de comunicação, linha dedicada e poder participar apenas de comunicação ponto-a-ponto.

Nível Lógico	Tensão DC:
0	3 a 15 Vdc
1	-15 a -3 Vdc

**EIA-422:** A comunicação sempre será feita no processo master-slave (mestre-escravo), sendo que o computador faz o papel de master e os periféricos se comportam como slave. Isto significa que todo o gerenciamento da comunicação será conduzida pelo computador central. Devido ser uma interface digital de tensão balanceada e sua saída (Tri-state), é possível encontrar aplicações envolvendo longas distâncias, altas taxas de comunicação, podendo ter vários equipamentos conectados na mesma rede (em paralelo-Sistema Multidrop).

Nível Lógico:	Tensão DC:
0	+ 5 Vdc
1	- 5 Vdc

**EIA-485:** a comunicação será feita no processo master-slave, e também a nível horizontal, ou seja, os equipamentos conectados na rede multidrop poderão, conforme protocolo, permitir a troca de informações entre si não necessitando da intervenção do computador principal. Demais características são semelhantes a norma anterior.

Nível Lógico:	Tensão DC
0	+ 5 Vdc
1	- 5 Vdc

### C) Tipos de Modulação

**MODEM (Modulador - Demodulador)** estão geralmente associados com transmissão por linha telefônica, onde o sinal na linha tem valores variando constantemente. Em sistemas de controle distribuído, os bits são transmitidos em estados ON e OFF. Entretanto a ação de interfaceamento entre a informação binária no arquivo controlador e no highway, tem alguma similaridade com o modem, de forma que o termo é aceito. Modems utilizam três esquemas básicos de modulação:

- ◆ Modulação em Frequência: (**FSK**): - é uma forma de onda, onde a frequência portadora é modificada de um valor representado por 1, para outro representando por 0. Ex: "1" = 1.200 Hz e "0" = 2.400 Hz.
- ◆ Modulação em Amplitude (**ASK**): - opera com a portadora em frequência constante, mas varia a amplitude para corresponder a mudanças de estado. Ex: "1" = 4 Vpp e "0" = 2 Vpp.
- ◆ Modulação em Fase (**PSK**): - modifica a fase do sinal transmitido por um número específico de graus para corresponder a uma formatação de entrada em bits. Ex: "1" = 0° e "0" = 180°.

#### C.1) Modulação Analógica e Digital

Os dados que trafegam pelo computador são digitais, e são representados por dois valores distintos de tensão elétrica. Um valor representa o bit 1, e o outro valor representa o bit 0. Na figura 1 vemos uma seqüência de bits e a sua representação através de tensões elétricas apropriadas. Observe que a seqüência é um sinal matemático, tratado pelo microprocessador. O sinal digital é uma seqüência eletrônica, na forma de uma tensão elétrica que varia ao longo do tempo, com o objetivo de representar a seqüência de bits. Um sinal digital nada mais é que uma tensão variável que assume dois valores típicos para representar os bits 0 e 1.

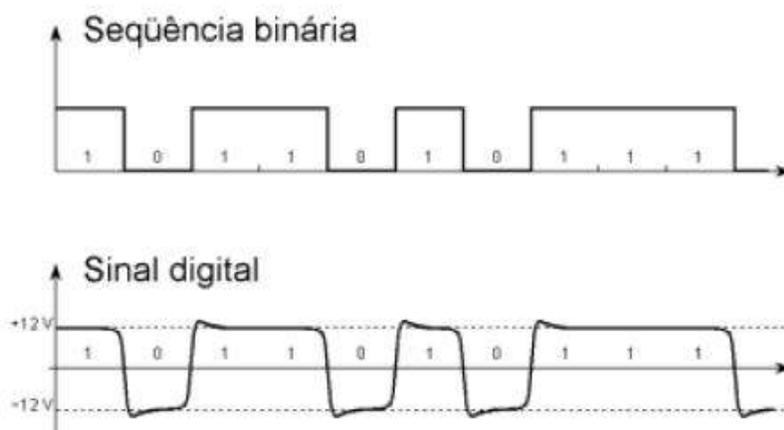


Figura 1 - Seqüência binária e o sinal digital que a representa.

As comunicações na instrumentação eletrônica são feitas através de um único sinal elétrico (4~20mA), e por isso utilizam apenas um par de fios. Não podemos, por exemplo, transferir dados por essas linhas no formato paralelo (vários bits de uma só vez), mas sim, no formato serial (um bit de cada vez). A interface serial é o meio natural para transmitir e receber dados por linhas telefônicas, já que transmitem ou recebem um bit de cada

vez. Na figura 1, as tensões elétricas de +12 e -12 volts são típicas das interfaces seriais existentes nos PCs (computadores pessoais). Infelizmente, cabos de instrumentação não possuem características elétricas que permitam transmitir sinais digitais, mas sim, sinais analógicos. Ao contrário dos sinais digitais, que assumem tipicamente dois valores de tensão elétrica, os sinais analógicos podem assumir infinitos valores de tensão elétrica. A figura 2 mostra o aspecto de um sinal analógico. Observe que o valor da sua tensão elétrica varia bastante, assumindo amplitudes baixas e altas. O sinal digital, por sua vez, mantém seu valor praticamente constante durante pequenos intervalos de tempo, variando apenas em períodos de transição ainda mais curtos.

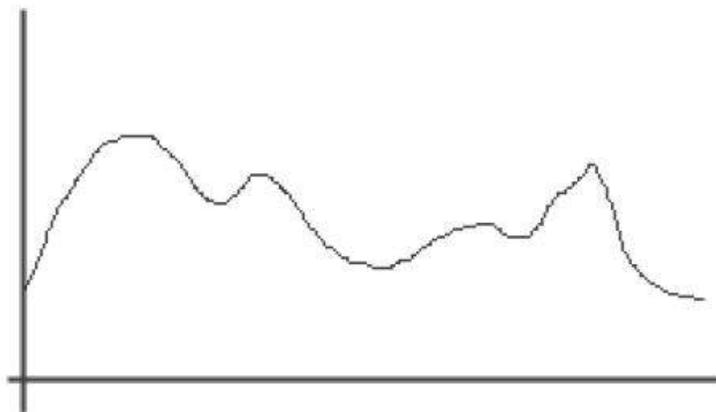


Figura 2 - Aspecto de um sinal analógico.

Se tentarmos ligar em um cabo de instrumentação, o sinal digital proveniente de uma interface serial, ocorrerá uma grande distorção. Até alguns metros, este sinal pode trafegar sem grandes distorções, mas com distâncias maiores, o sinal fica cada vez mais degradado. A figura 3 mostra este tipo de degradação.

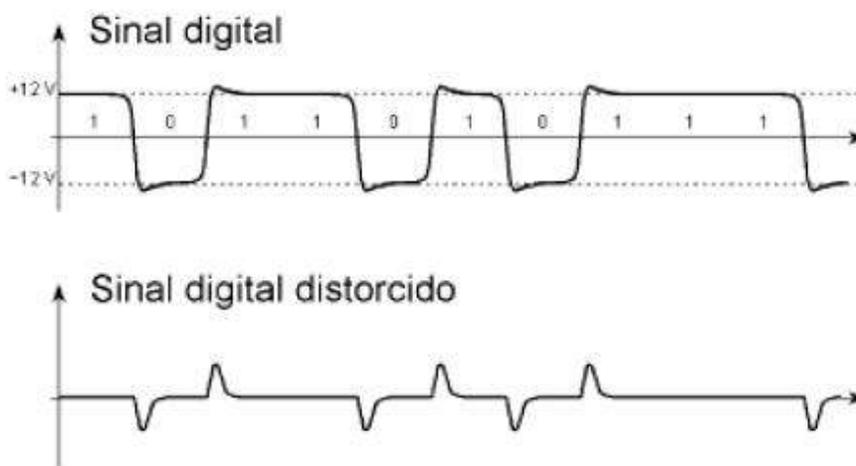


Figura 3 - Sinal digital original e distorcido em um cabo comum.

A solução para transmitir um sinal digital por um cabo simples, sem apresentar distorções, é usando um processo conhecido como modulação e demodulação. Na modulação, o sinal digital é transformado em analógico, e assim pode trafegar em um cabo simples sem apresentar distorções. Ao ser recebido no seu destino, o sinal é demodulado, voltando a assumir a forma digital. Existem vários métodos de modulação. A figura 4 mostra um sistema de modulação bem simples, no qual cada bit é representado por um sinal analógico senoidal com uma

determinada frequência. Observe que o bit 1 é convertido em uma frequência maior, ou seja, varia mais rápido. O bit 0 é convertido em um sinal de frequência mais baixa, ou seja, varia mais lentamente.

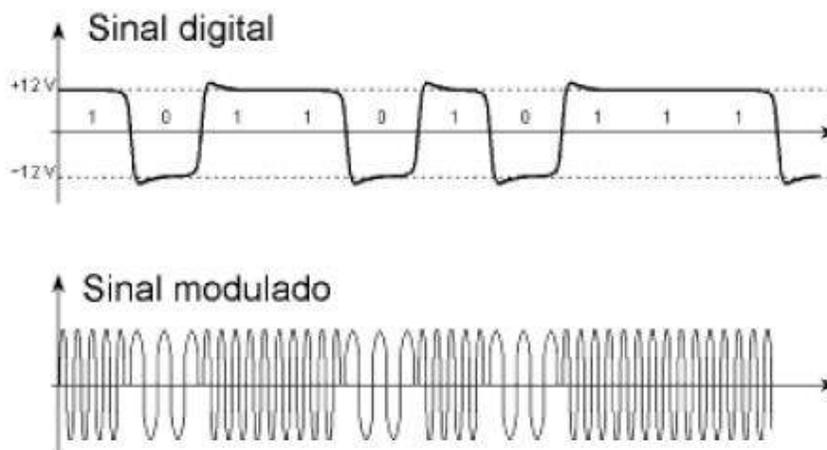


Figura 4 - Modulação de um sinal digital.

Existem muitos tipos de modulação analógico / digital.

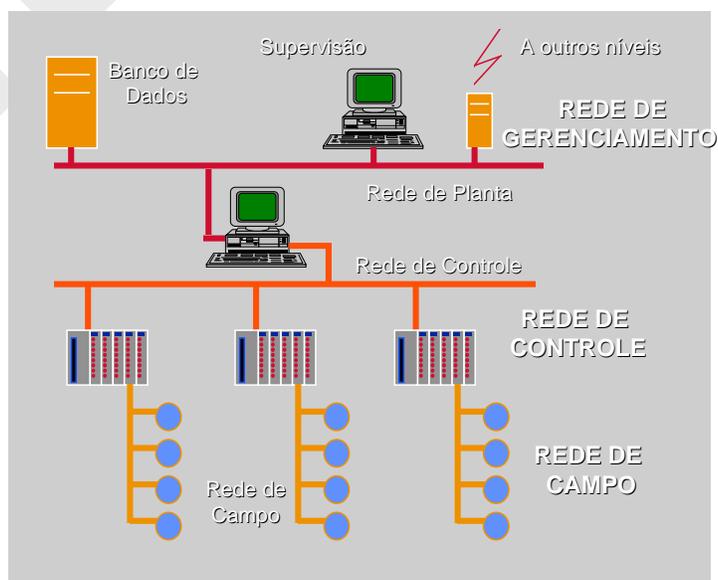
#### D) Velocidade de Transmissão (Baud-rate)

É definida como o número de bits que são transmitidos por segundo. As relações de transmissão de dados mais comuns são: 300, 600, 1.200, 4.800, 9.600 e 19.200.

## 2.2 – REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAIS

### Introdução

Nas fábricas atuais, é importante saber o que se produz, quanto se produz e a disponibilidade dos recursos de produção. A velocidade de trânsito destas informações pode significar um elevado retorno proporcional. A incrível evolução da informática em todas as áreas do conhecimento humano tem permitido a implementação do conceito de inteligência distribuída em ambientes industriais. A utilização de equipamentos inteligentes em máquinas ou processos para controle ou na aquisição pura e simples da informação é o primeiro passo para a automação industrial completa. Interligar estes equipamentos é o passo seguinte; a construção de um sistema de aquisição de informações apto ao acompanhamento em tempo real da produção do maquinário envolvido ou do estado do processo em funcionamento é consequência quase obrigatória.

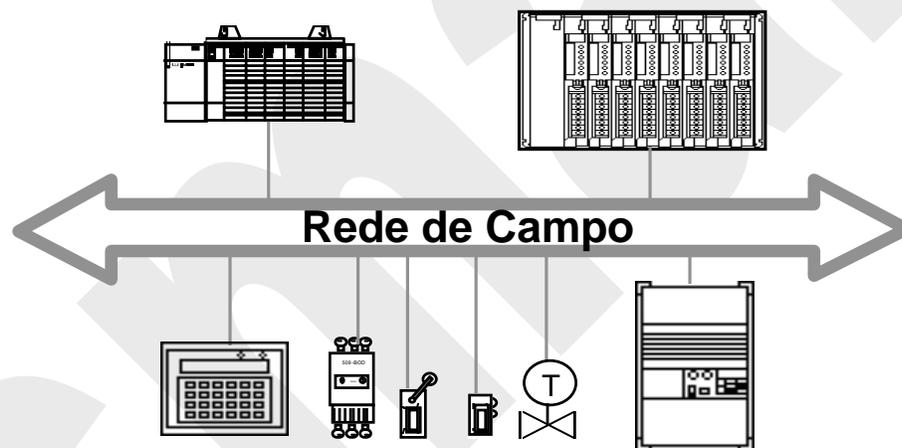


Uma rede de comunicação para sistemas de automação industrial é um conjunto de sistemas independentes, autônomos e interconectados de forma a permitir a troca de informações entre si. Uma rede oferece os meios físicos e lógicos que permitam a integração do sistema através da troca de informações. As redes para sistemas de automação podem ser classificadas, conforme sua finalidade em: Redes de Campo; de Controle e de Gerenciamento de Fábrica. Neste momento daremos uma ênfase maior nas redes de campo.

### 2.2.1 REDES DE CAMPO

Esta rede tem como características:

- Redução do custo da fiação e instalação do projeto,
- Comunicação bidirecional, permitindo configuração e calibração dos dispositivos,
- Distribuição de inteligência,
- Integração com diversos fabricantes,
- Normalmente possível conexão com até 1 centena de dispositivos,
- Velocidade normalmente na faixa de dezenas de Kbps, podendo atingir até 1 Mbps e
- Integração do controlador ao sistema de atuação do equipamento



Estas redes podem ser sub - classificadas quanto a categoria dos dispositivos conectados, como sendo para: Processo, Manufatura e Sensores. A ilustração a seguir, resume algumas considerações para cada tipo de aplicação.

	Processo	Manufatura	Sensores
Tamanho da Mensagem	Alguns bytes	Alguns bytes	Alguns bits
Tempo de Resposta	5 a 50 ms	5 a 50 ms	< 5ms
Tipo de Cabo	Instrumentação	Qualquer	Baixo custo
Distância Max	2 Km	2 Km	100m
Áreas Classificadas	Sim	Não	Não

Podemos citar, como exemplo destas redes, os seguintes padrões:

- HART
- ASI - ACTUATOR SENSOR INTERFACE
- DEVICENET
- PROFIBUS DP E PA
- FOUNDATION FIELDBUS

A seguir comentaremos um pouco sobre cada tipo de rede de campo citada acima.

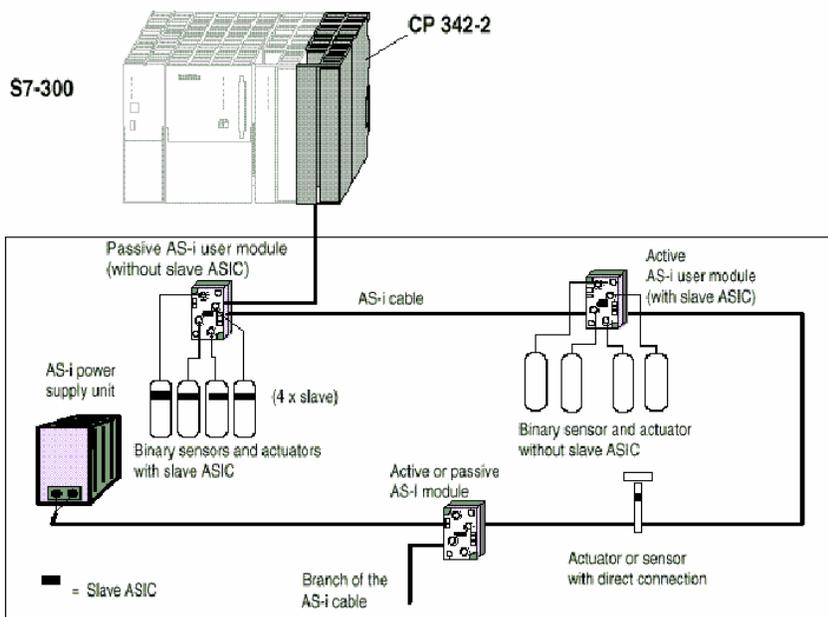
### 2.2.1 – Rede AS-i (Actuador & Sensor Interface)

A rede AS-i ou Interface Atuador / Sensor é uma sub - rede para sistemas de automação do mais baixo, ou seja, automação de chão de fábrica. Os tipos mais simples de sensores e atuadores são conectados nesta rede.

A rede AS-i apresenta as seguintes características:

- Cabo Paralelo com dois condutores
- Até 31 escravos
- Cada escravo: 4 bits de I/Os
- Até 100 m ou 300m com repetidores
- Sistema de comunicação mestre - escravo
- Garantido um máximo de 4,7 ms com configuração máxima da rede

A rede AS-i é composta por um módulo master, módulos AS-i, cabo AS-i, unidade de alimentação, sensores com "chip" AS-i integrado, dispositivo de programação AS-i e softwares de monitoração.

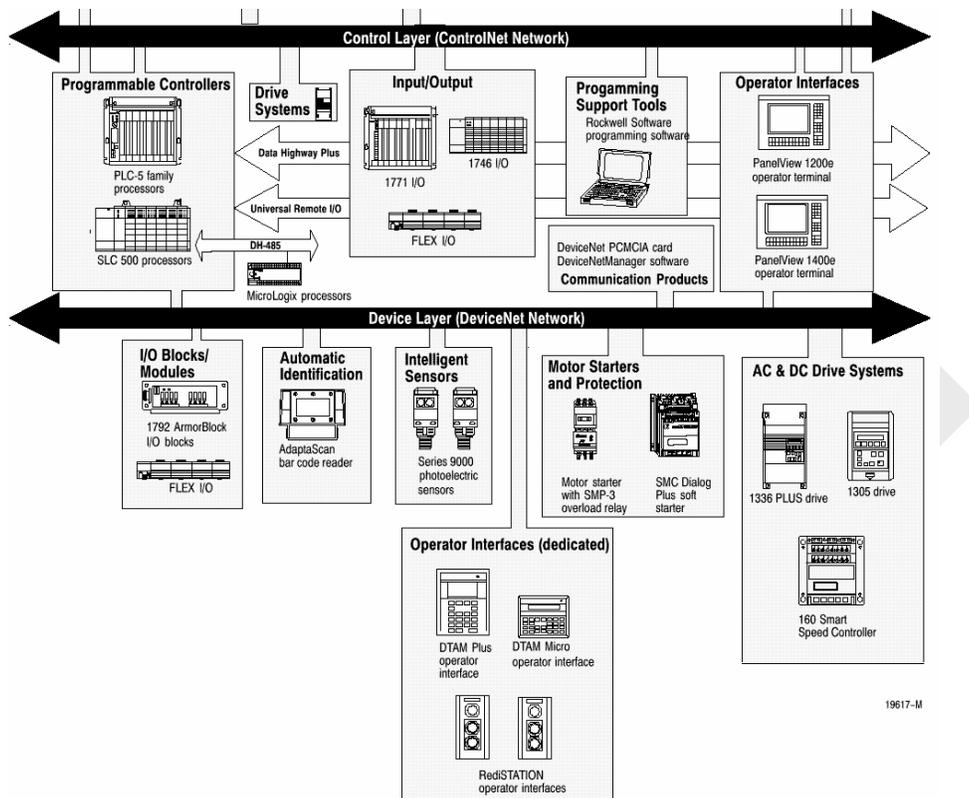


A rede AS-i é composta por:

- Sensores
- Botoeiras
- Módulos de Entrada e Saída
- Monitores de válvula
- Sinalizadores

## 2.2.2 – Rede Devicenet

O Devicenet é um protocolo de comunicação para ligar dispositivos industriais (tais como fim-de-curso, sensores fotoelétricos, partidas de motor, sensores de processo, leitores de código de barra, drivers de frequência variável e interfaces de usuário) a uma rede, eliminando vários cabos.



A conectividade direta proporciona comunicação melhorada entre dispositivos assim como diagnósticos importantes em nível de dispositivos não facilmente acessíveis nem disponível em dispositivos de I/O's convencionais. O Devicenet é uma rede aberta. A especificação e o protocolo podem ser obtidos na Associação Aberta de Vendedores de Devicenet, Inc. (ODVA).

Devicenet é baseado num protocolo de comunicações chamado CAN. O CAN originalmente foi desenvolvido pela BOSCH para o mercado de automóvel europeu para substituir os caros chicotes de cabo por um cabo em rede de baixo custo em automóveis. Como resultado, o CAN tem resposta rápida e confiabilidade alta para aplicações como controle de freios ABS e Air bags.

A rede Devicenet apresenta as seguintes características:

Cabo par - trançado com 4 fios e uma blindagem; um par da alimentação e outro do sinal:

- Até 64 dispositivos,
- Velocidades ajustáveis em: 125; 250 e 500 Kbits/s,
- Até 500m em 125 Kbits/s e
- Sistema de comunicação mestre – escravo.

A rede DeviceNet é composta por:

- Módulos de I/O's com capacidade para vários pontos digitais ou analógicos
- Drivers para motores

- I.H.M.
- Relês de proteção

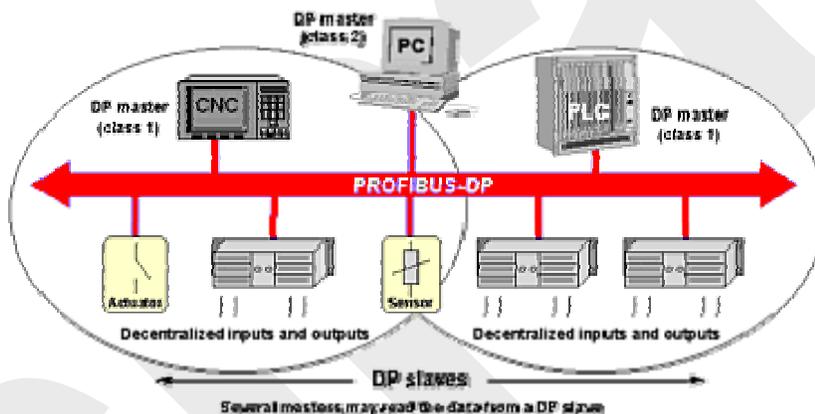
### 2.2.3 – Rede Profibus

PROFIBUS é um protocolo aberto líder na Europa (Fonte: Independent Fieldbus Study by Consultic) e goza aceitação mundial. As áreas de aplicação incluem manufatura, processo e automação predial.

Hoje, todos os principais fabricantes da tecnologia de automação oferecem interfaces PROFIBUS para seus dispositivos. A variedade de produtos inclui mais de 1.000 dispositivos diferentes e serviços, mais de 200 são dispositivos certificados, PROFIBUS foi usado com êxito em mais de 100.000 aplicações reais ao redor do mundo. A tecnologia PROFIBUS é desenvolvida e administrada pela PROFIBUS User Organization.

#### 2.2.3.1 – Rede Profibus - DP ( Decentralized Periphéria )

É um protocolo de comunicação otimizado para alta velocidade e conexão de baixo custo, esta versão de PROFIBUS é projetada especialmente para comunicação entre sistemas de controle de automação e I/O's distribuídos como dispositivos. O PROFIBUS-DP pode ser usado para substituir a transmissão de sinal em 24 Vdc ou 0 a 20 mA.



A rede **Profibus – DP**, apresenta as seguintes características:

- Cabo Par - trançado com 2 fios e uma blindagem somente para sinal,
- Até 128 dispositivos divididos em 4 segmentos com repetidores,
- Velocidades ajustáveis de 9.600 a 12Mbits/seg,
- De 100 a 1200m conforme a velocidade, e
- Sistema de comunicação mestre – escravo.

A rede **Profibus - DP** é composta por:

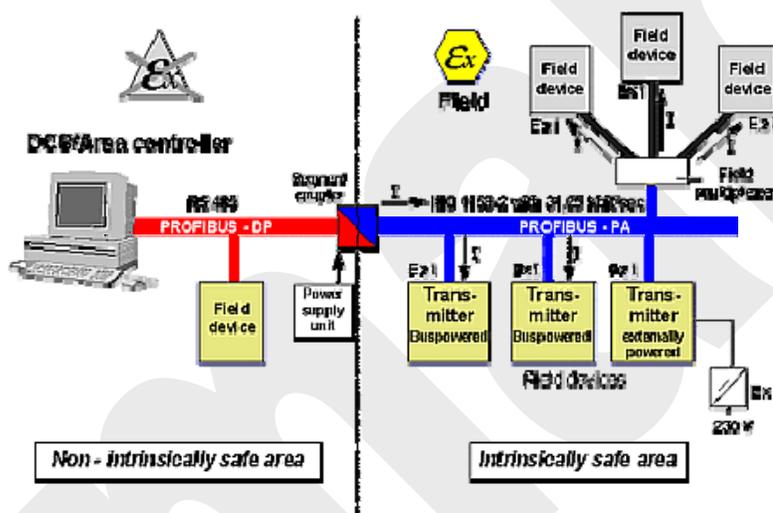
- Módulos de I/O com capacidade para vários pontos digitais ou analógicos,
- Drivers para motores,
- I.H.M. ( Interface Homem Máquina ), e
- Terminais de válvulas

#### 2.2.3.2 – Rede Profibus - PA ( Process Automation )

PROFIBUS-PA é a solução PROFIBUS para automação de processo. PA conecta sistemas de automação e sistemas de controle de processo com os dispositivos de campo tal como transmissores de pressão,

temperatura e nível. PA pode ser usado como um substituto para a tecnologia 4 a 20 mA. PROFIBUS-PA alcança economia de custo de aproximadamente 40% em planejamento, cabeamento, partida e manutenção e oferece um aumento significativo em funcionalidade e segurança.

Uma linha de alimentação separada (uma fonte de alimentação para zonas potencialmente explosivas pode ser necessário) é requerido para cada dispositivo em uma configuração convencional. Em contraste, quando PROFIBUS-PA é usado, somente um par de fios é necessário para transmitir toda informação e alimentação para os dispositivos de campo. Isto não somente poupa custos de ligação mas também diminui o número de módulos de I/O no sistema de controle de processo. Isoladores e barreiras não são mais necessários desde que o bus seja alimentado com fontes intrinsecamente seguras. O PROFIBUS-PA permite medir, controlar e regulamentar via uma linha simples de dois fio. Também permite alimentar dispositivos de campo em áreas intrinsecamente seguras. O PROFIBUS-PA permite manutenção e conexão/desconexão de dispositivos durante operação sem afetar outras estações em áreas potencialmente explosivas.



A rede Profibus - PA apresenta as seguintes características:

- Cabo Par - trançado com 2 fios e uma blindagem, trafegando sinal e alimentação,
- Até 32 dispositivos sem alimentação e 12 com alimentação,
- Velocidades de 31,25 Kbits /s,
- Máxima distância de 1.900 m conforme número de dispositivos, e
- Permite várias topologias.

A rede Profibus - PA é composta por:

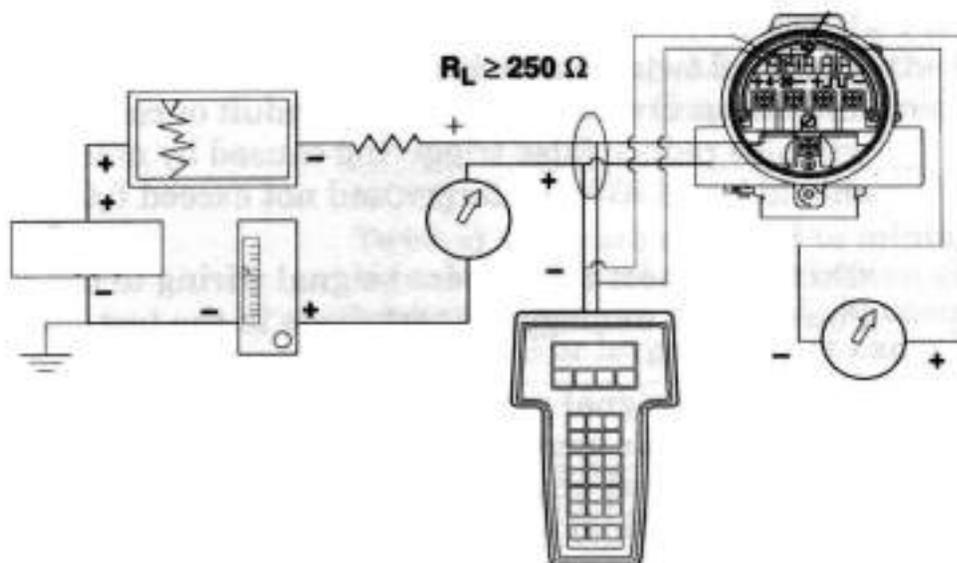
- Transmissores de: Pressão, vazão, temperatura, nível e outros,
- Analisadores Industriais

#### 2.2.4 - Protocolo HART

O protocolo **Hart** ( Highway Adress Remote Transducer ) , um sistema que combina o padrão 4 a 20 mA com a comunicação digital. É um sistema a dois fios com taxa de comunicação de 1200 bits/s e modulação FSK ( Frequency Shift Key ). O Hart é baseado no sistema mestre escravo, permitindo a existência de dois mestres na rede simultaneamente.

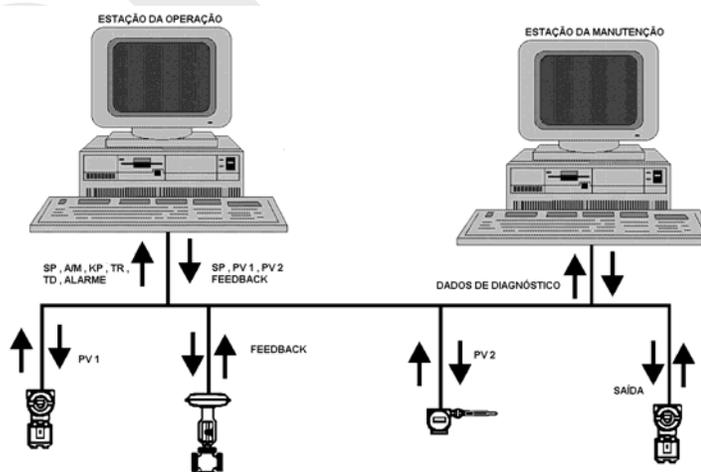
As vantagens do protocolo Hart são as seguintes:

- Usa o mesmo par de cabos para o 4 à 20 mA e para a comunicação digital.
- Usa o mesmo tipo de cabo usado na instrumentação analógica.
- Disponibilidade de equipamentos de vários fabricantes.



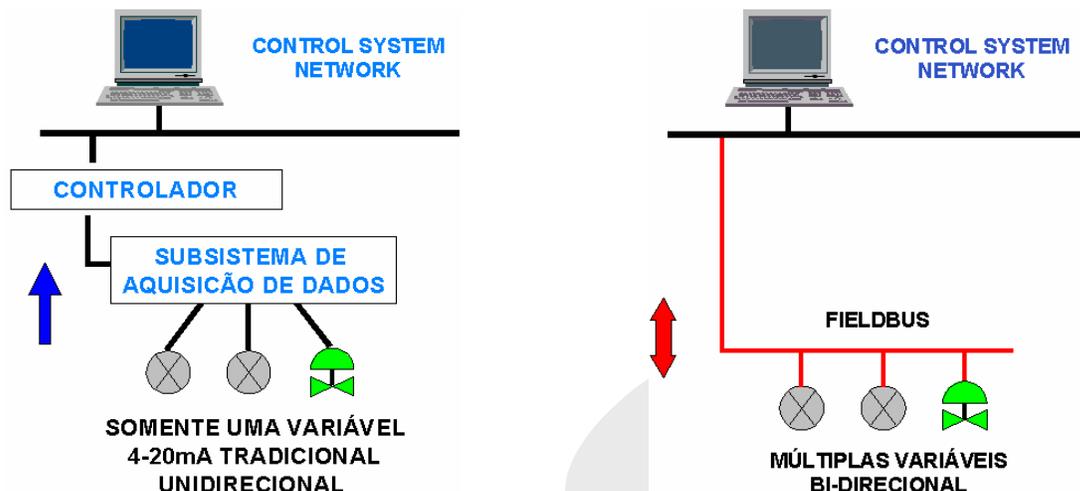
### 2.2.5 – Rede Foundation Fieldbus

O Fieldbus é um sistema de comunicação digital bidirecional que interliga equipamentos inteligentes de campo com sistema de controle ou equipamentos localizados na sala de controle, conforme mostra a figura abaixo.



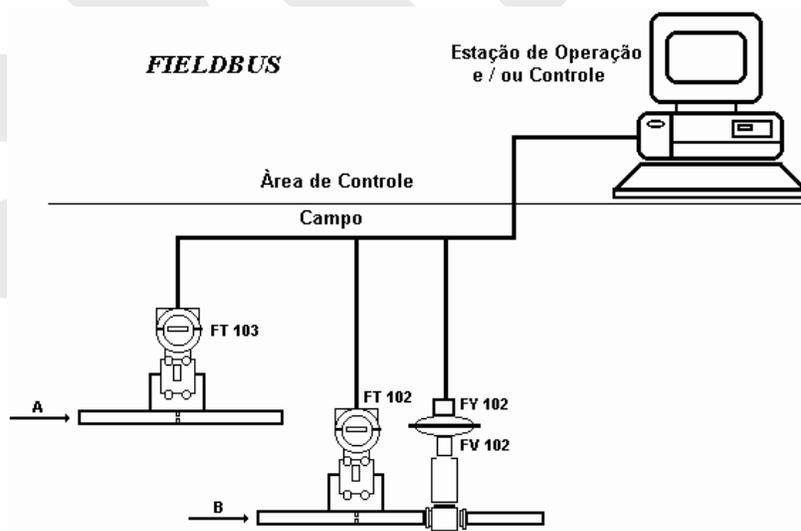
Este padrão permitirá comunicação entre uma variedade de equipamentos como: transmissores, conversores, válvulas, controladores, CLP's, etc.

A definição mais conhecida do FIELDBUS é a substituição do protocolo de comunicação analógico ( 4 a 20 mA ), por um protocolo digital de comunicação entre os instrumentos do campo e os da sala de controle.



Entretanto, esta parte conceitual é muito mais abrangente. Podemos começar destacando e focalizando as partes boas das diversas tecnologias de controle, desde a pneumática, onde tínhamos o controle realizado no campo, sem que o sinal tivesse que ir até a sala de controle e depois retornar para o elemento final de controle de campo.

Da era da eletrônica microprocessada, podemos utilizar os instrumentos inteligentes, sua capacidade de controle e a tecnologia de rede de comunicação digital entre computadores. Na figura abaixo, vamos iniciar destacando uma das vantagens do FIELDBUS ainda não citada até aqui.



Neste exemplo, com o uso da comunicação somente digital e da tecnologia de rede de computadores, só precisamos de um par de fios para interligar os transmissores /controladores FT-103, FT-102, o transdutor de Fb / Posição ( FY -102 ) da Válvula FV-102 e o computador também chamado IHM ( Interface Homem - Máquina ) ou Workstation ou simplesmente PC. Portanto podemos notar já neste instante a grande economia de custos de fiação , bandejas e mão-de-obra de instalação dos FCS's (Sistemas de Controle Fieldbus) para os sistemas mais antigos ( aqueles que usam protocolo analógico 4 a 20 mA, e um par de fios para cada instrumento ).

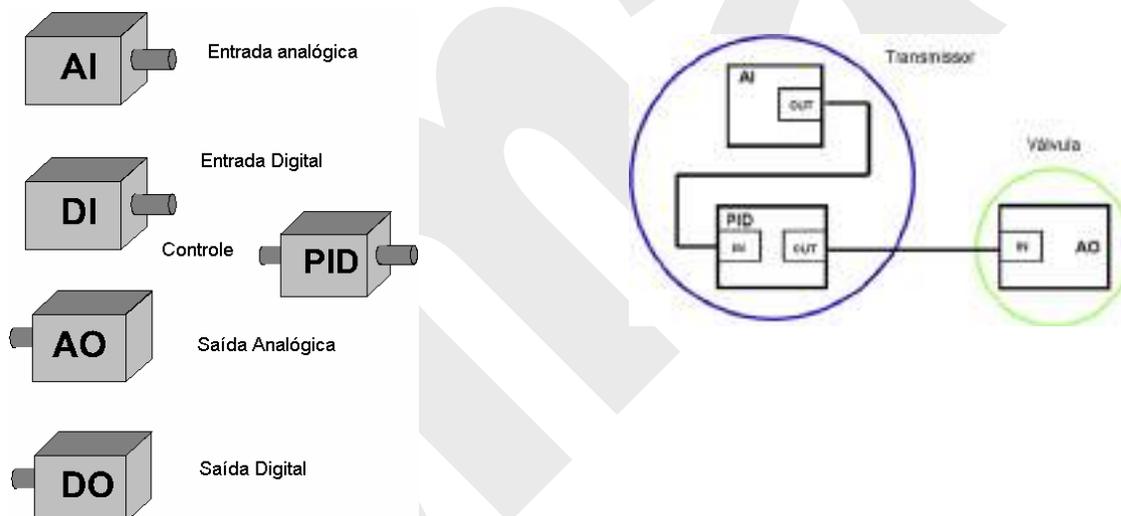
Sob o ponto de vista da instrumentação clássica, seríamos levados a pensar que o transmissor/controlador FT-102 está fazendo o controle atuando na válvula FCV-102. Agora na era Fieldbus, já não é mais possível pensar somente desta maneira, pois podemos ter outras possibilidades de controle:

- Transmissor/controlador (FT-103) fazendo o controle atuando na válvula FCV-102;
- Transmissor/controlador (FT-102) adquirindo a informação de fluxo da tubulação "A" através do transmissor FT-103 e fazendo controle e atuando na válvula;
- Transdutor de Fb/Posição (FY-102) que pode ter também a capacidade de controle adquirindo as informações de fluxo dos transmissores FT-102 e FT-103 e ele realizando o controle e atuando na válvula.

Estas são algumas das possibilidades, pois ainda poderíamos explorar a capacidade de controle da placa controladora instalada no PC, e neste caso, estar realizando um algoritmo de controle mais complexo ou até, alguma otimização num outro computador num nível mais acima; ou somente utilizar o PC para visualizarmos o que está acontecendo no processo através de sua tela.

De acordo com a norma FF-94-816 o principal meio físico para dispositivos é o par de fios trançados. Ainda de acordo com a mesma norma a taxa de comunicação, de 31.25 Kb/s e o número máximo de equipamentos no barramento, e sem segurança intrínseca, é de 32 equipamentos (s/ alimentação pelo barramento) e de 12 equipamentos (c/ alimentação pelo barramento). Com segurança intrínseca, de 4 a 8 equipamentos por barreira.

A seguir, mostraremos alguns blocos homologados pela Fieldbus Foundation.



A rede Foundation Fieldbus apresenta as seguintes características:

- Cabo Par - trançado com 2 fios e uma blindagem, padrão usado na instrumentação, trafegando sinal e alimentação,
- Até 32 dispositivos sem alimentação e 12 com alimentação,
- Velocidades de 31,25 Kbits/s,
- Máxima distância de 1.900 m conforme número de dispositivos, tipo de cabo, etc, e
- Permite várias topologias.

A rede Foundation Fieldbus é composta por:

- Transmissores de Pressão; Vazão; Temperatura e Nível, etc.
- Instrumentação analítica
- Cartões de Interface para CLP's

**3 - EXERCÍCIOS:**

1- Calcule o valor pedido:

Exemplo: 50% do sinal de 3 à 15 psi

$$\text{Valor Pedido} = \left[ \frac{(\text{Final} - \text{Início}) \text{ ou Span}}{100\%} \right] \times (\%) + \text{zero vivo}$$

$$\begin{array}{l} 15 \\ -3 \\ \hline 12 \end{array} \rightarrow \text{Span} \quad \frac{12 \times 50}{100} + 3 = \mathbf{9 \text{ psi}}$$

a) 70% de 3 - 15 psi = \_\_\_\_\_

b) 30% de 0,2 - 1 kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_

c) 55% de 20 - 100 kPa = \_\_\_\_\_

g) 65% de 4 - 20 mA = \_\_\_\_\_

h) 37% de 1 - 5 V = \_\_\_\_\_

2 - Calcule o valor pedido:

Exemplo: 9 psi é quantos % da faixa de 3 a 15 psi

$$\text{Valor Pedido} = \frac{(\text{Valor de transmissão} - \text{zero vivo}) \times (100\%)}{(\text{Final} - \text{Início})} = \text{Span}$$

$$\frac{(9 - 3) \times 100}{(15 - 3)} = \frac{6 \times 100}{12} = 50\%$$

a) 12 psi é quantos % da faixa de 3 a 15 psi = \_\_\_\_\_

b) 0,4 Kgf/cm<sup>2</sup> é quantos % da faixa de 0,2 a 1 kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_

c) 13 mA é quantos % da faixa de 4 a 20 mA = \_\_\_\_\_

d) 4,5 V é quantos % da faixa de 1 a 5 Vdc = \_\_\_\_\_

---

## **CAPÍTULO 3: MEDIÇÃO DE PRESSÃO**

### **1 – INTRODUÇÃO**

### **2 – CONCEITOS DE PRESSÃO**

- 2.1 – Pressão Atmosférica
- 2.2 – Pressão Relativa Positiva ou Manométrica
- 2.3 – Pressão Absoluta
- 2.4 – Pressão Relativa Negativa ou Vácuo
- 2.5 – Diagrama comparativo da escalas
- 2.6 – Pressão Diferencial
- 2.7 – Pressão Estática
- 2.8 – Pressão Dinâmica
- 2.9 – Pressão Total
- 2.10 – Unidades de Pressão

### **3 – DISPOSITIVOS PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO**

- 3.1 – Tubo de Bourdon
- 3.2 – Membrana ou Diafragma
- 3.3 – Fole
- 3.4 – Coluna de Líquido
- 3.5 – Sensor Piezoelétrico
- 3.6 – Sensor Strain Gauge (Célula de Carga) ou Piezoresistivo
- 3.7 – Sensor Capacitivo
- 3.8 – Sensor Silício Ressonante

### **4 – EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

### **5 – TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO**

## 1 – INTRODUÇÃO

Medição de pressão é o mais importante padrão de medida, pois as medidas de vazão, nível, etc. podem ser feitas utilizando-se esse princípio.

Devido à natureza dos fluidos; como gases, vapores, fluidos limpos, viscosos, pastosos e corrosivos, empregam várias técnicas em sua medição, assim como vários conceitos de física e de hidrostática.

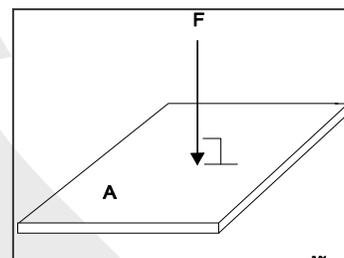
## 2 - CONCEITOS DE PRESSÃO

**Pressão** é definida como “uma força aplicada uniformemente sobre um superfície (área)”.

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{onde: } P = \text{Pressão}$$

$$F = \text{Força}$$

$$A = \text{Área}$$



### 2.1 - PRESSÃO ATMOSFÉRICA

É a pressão exercida pela atmosfera terrestre medida em um barômetro. Ao nível do mar esta pressão é aproximadamente de 760 mmHg.

### 2.2 - PRESSÃO RELATIVA POSITIVA OU MANOMÉTRICA

É a pressão medida em relação à pressão atmosférica, tomada como unidade de referência.

### 2.3 - PRESSÃO ABSOLUTA

É a soma da pressão relativa e atmosférica, também se diz que é medida a partir do vácuo absoluto.

**Importante:** Ao se exprimir um valor de pressão, determinar se a pressão é relativa ou absoluta.

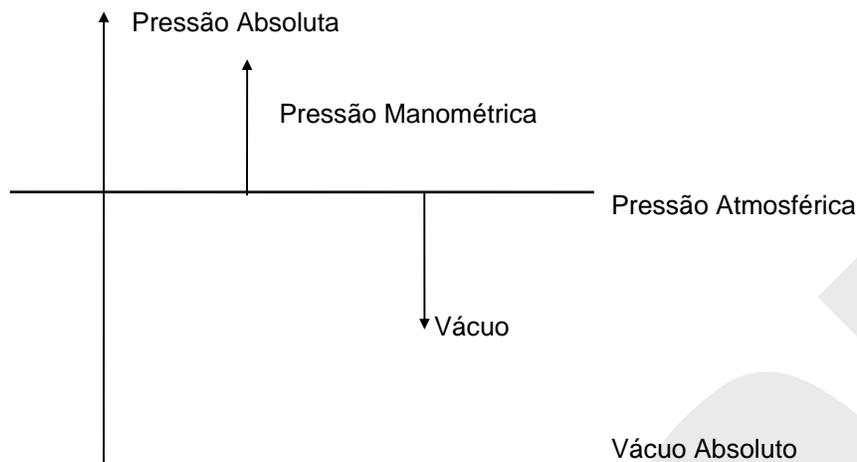
**Exemplo:** 3 Kgf/cm<sup>2</sup> a → Pressão Absoluta  
4 Kgf/cm<sup>2</sup> g → Pressão Relativa ou Manométrica ( Gauge)

O fato de se omitir esta informação na indústria significa que a maior parte dos instrumentos medem pressão relativa.

### 2.4 - PRESSÃO RELATIVA NEGATIVA OU VÁCUO

É quando um sistema tem pressão relativa menor que a pressão atmosférica.

## 2.5 - DIAGRAMA COMPARATIVO DAS ESCALAS



## 2.6 – PRESSÃO DIFERENCIAL

É a diferença entre 2 pressões, sendo representada pelo símbolo  $\Delta P$  (delta P). Essa diferença de pressão normalmente é utilizada para medir vazão, nível, densidade, diferencial de pressão, etc.

## 2.7 – PRESSÃO ESTÁTICA

É o peso exercido por uma coluna líquida em repouso ou que esteja fluindo perpendicularmente a tomada de impulso.

## 2.8 - PRESSÃO DINÂMICA

É a pressão exercida por um fluido em movimento paralelo à sua corrente.

## 2.9 - PRESSÃO TOTAL

É a pressão resultante da somatória das pressões estáticas e dinâmicas exercidas por um fluido que se encontra em movimento.

## 2.10- UNIDADES DE PRESSÃO

Como existem muitas unidades de Pressão é necessário saber a correspondência entre elas, pois nem sempre na indústria temos instrumentos padrões com todas as unidades e para isto é necessário saber fazer a conversão.

Exemplo:

$$10 \text{ psi} = \frac{\quad ? \quad}{\quad} \text{ Kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ psi} = 0,0703 \text{ Kgf/cm}^2 \quad \longrightarrow \text{De acordo com a tabela}$$

$$10 \times 0,0703 = 0,703 \text{ Kgf/cm}^2$$

### 3 – DISPOSITIVOS PARA MEDIÇÃO DE PRESSÃO

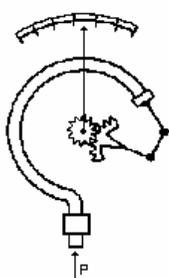
O instrumento mais simples para se medir pressão é o manômetro, que pode ter vários elementos sensíveis e que podem ser utilizados também pelos transmissores e controladores. Vamos então ao estudo de alguns tipos de elementos sensíveis.

#### 3.1 - Tubo Bourdon

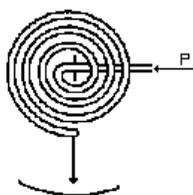
Consiste geralmente de um tubo com seção oval, disposto na forma de arco de circunferência, tendo uma extremidade fechada, estando à outra aberta à pressão a ser medida. Com a pressão agindo em seu interior, o tubo tende a tomar uma seção circular resultando um movimento em sua extremidade fechada. Esse movimento através da engrenagem é transmitido a um ponteiro que vai indicar uma medida de pressão.

Quanto à forma, o tubo Bourdon pode se apresentar nas seguintes formas: tipo C, espiral e helicoidal.

#### Tipos de Tubos “Bourdon”



a) Tipo C



b) Tipo Espiral



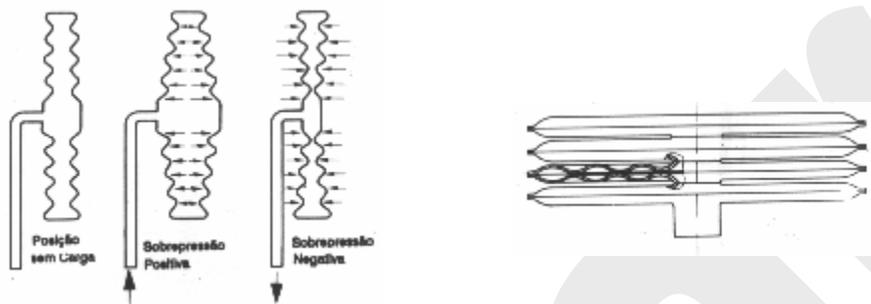
c) Tipo Helicoidal



### 3.2 - Membrana ou Diafragma

É constituído pôr um disco de material elástico (metálico ou não), fixo pela borda. Uma haste fixa ao centro do disco está ligada a um mecanismo de indicação.

Quando uma pressão é aplicada, a membrana se desloca e esse deslocamento é proporcional à pressão aplicada.

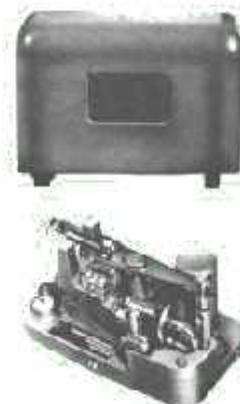
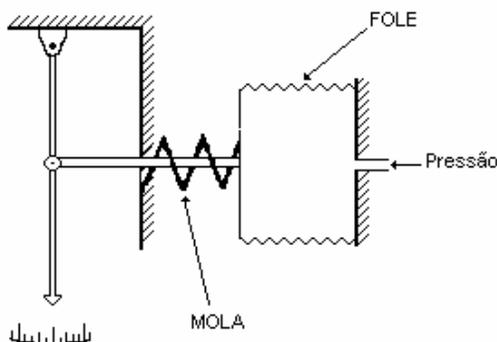


O diagrama geralmente é ondulado ou corrugado para aumentar sua área efetiva.

### 3.3 – Fole

O fole é também muito empregado na medição de pressão. Ele é basicamente um cilindro metálico, corrugado ou sanfonado.

Quando uma pressão é aplicada no interior do fole, provoca sua distensão, e como ela tem que vencer a flexibilidade do material e a força de oposição da mola, o deslocamento é proporcional à pressão aplicada à parte interna.



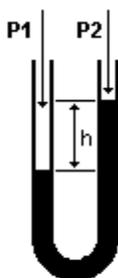
### 3.4 - Coluna de Líquido

Consiste, basicamente, num tubo de vidro, contendo certa quantidade de líquido, fixado a uma base com uma escala graduada.

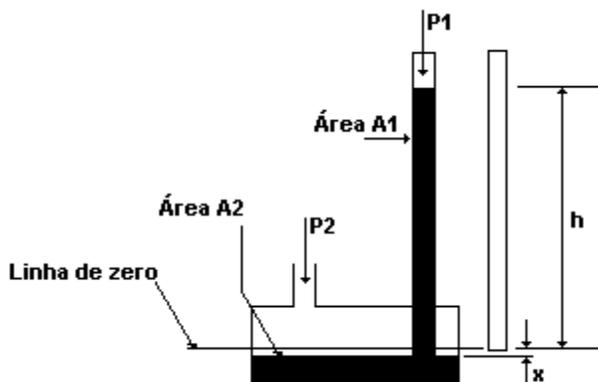
As colunas podem ser basicamente de três tipos: coluna reta vertical, reta inclinada e em forma de "U". Os líquidos mais utilizados nas colunas são: água (normalmente com um corante) e mercúrio.

Quando se aplica uma pressão na coluna o líquido é deslocado, sendo que este deslocamento é proporcional à pressão aplicada.

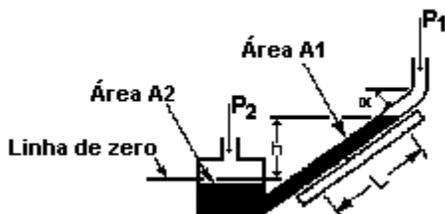
Sendo a fórmula:  $P_1 - P_2 = h \cdot \rho$



Manômetro de tubo em "U"

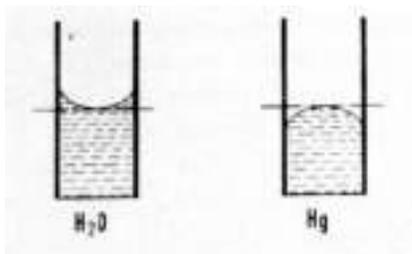


Manômetro de Coluna Reta Vertical



Manômetro de Coluna Reta Inclinada

Neste tipo de medidor a tensão superficial dos líquidos é evidente, ou seja, neste tipo de medidor devido à força de coesão e adesão entre as moléculas do vidro do líquido, aparece o que chamamos de menisco. Em tubos de pequenos diâmetros a superfície do líquido deverá ser uma curva. No caso de líquidos como a água e o álcool, a qual tem uma tensão superficial baixa, a superfície será côncava. No caso do mercúrio, a qual tem uma tensão superficial alta, o menisco será convexo. Para evitar o erro de paralaxe quando fizermos a leitura de pressão, esta deve ser feita na direção horizontal no ápice do menisco, como mostra a figura a seguir.

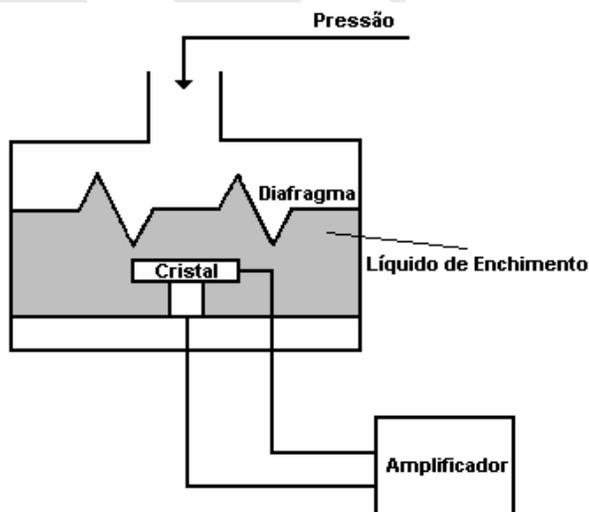


### 3.5 – Sensor tipo Piezoelétrico

Os elementos piezoelétricos são cristais, como o quartzo, a turmalina e o titanato que acumulam cargas elétricas em certas áreas da estrutura cristalina, quando sofre uma deformação física, pôr ação de uma pressão. São elementos pequenos e de construção robusta. Seu sinal de resposta é linear com a variação de pressão, são capazes de fornecer sinais de altíssimas frequências de milhões de ciclos pôr segundo.

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, pôr isso é utilizado em relógios de precisão.

A carga devida à alteração da forma é gerada sem energia auxiliar, uma vez que o quartzo é um elemento transmissor ativo. Esta carga é conectada à entrada de um amplificador, sendo indicada ou convertida em um sinal de saída, para tratamento posterior.



### 3.6 – Sensor tipo Strain Gauge ou Piezoresistivo

Baseia-se no princípio de variação da resistência de um fio, mudando-se as suas dimensões. Para variarmos a resistência de um condutor devemos analisar a equação geral da resistência:

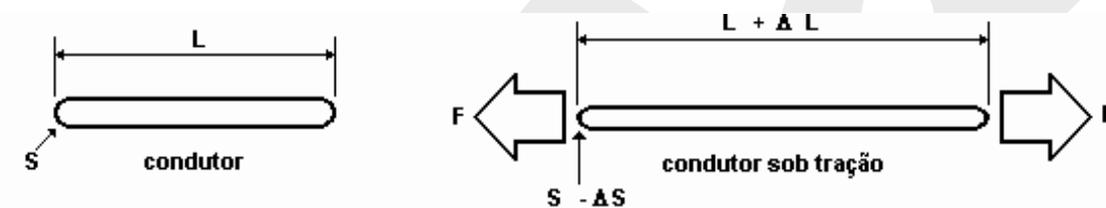
$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Onde:

- R: Resistência do condutor
- $\rho$ : Resistividade do material
- L: Comprimento do condutor
- S: Área da seção transversal

A equação nos explica que a resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional à resistividade e ao comprimento e inversamente proporcional a área da seção transversal.

A maneira mais prática de alterarmos as dimensões de um condutor é tracionarmos o mesmo no sentido axial como mostrado a seguir:

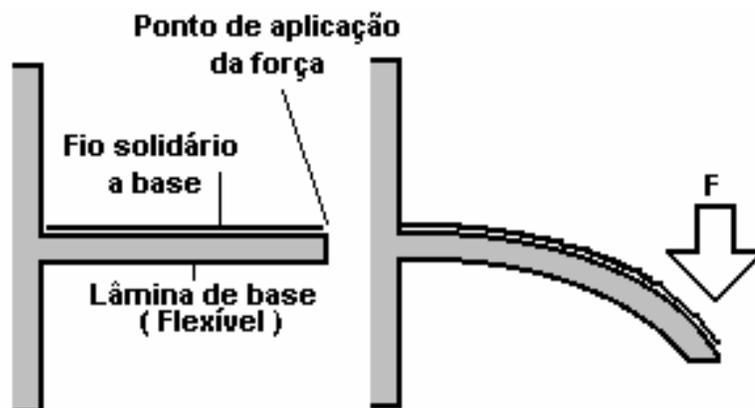


Seguindo esta linha de raciocínio, concluímos que para um comprimento  $L$  obtivemos  $\Delta L$ , então para um comprimento  $10 \times L$  teríamos  $10 \times \Delta L$ , ou seja, quanto maior o comprimento do fio, maior será a variação da resistência obtida e maior a sensibilidade do sensor para uma mesma pressão (força) aplicada.

O sensor consiste de um fio firmemente colado sobre uma lâmina de base, dobrando-se tão compacto quanto possível. Esta montagem denomina-se tira extensiométrica como vemos na figura a seguir:



Observa-se que o fio, apesar de solidamente ligado à lâmina de base, precisa estar eletricamente isolado da mesma. Uma das extremidades da lâmina é fixada em um ponto de apoio rígido enquanto a outra extremidade será o ponto de aplicação de força.



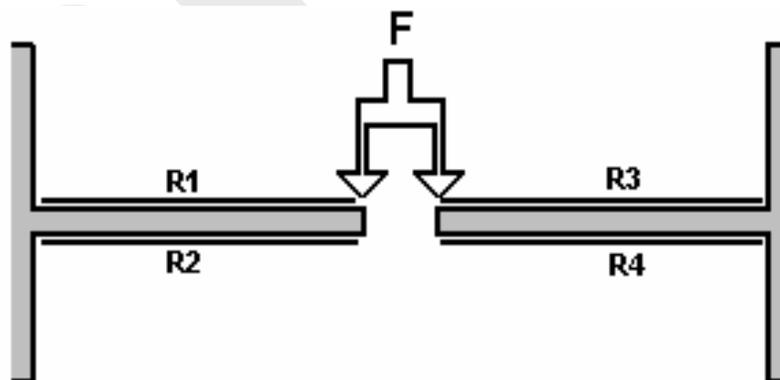
Da física tradicional sabemos que um material ao sofrer uma flexão, suas fibras internas serão submetidas a dois tipos de deformação: tração e compressão.

As fibras mais externas sofrem um alongamento com a tração, pois pertencem ao perímetro de maior raio de curvatura, enquanto as fibras internas sofrem uma redução de comprimento (menor raio de curvatura).

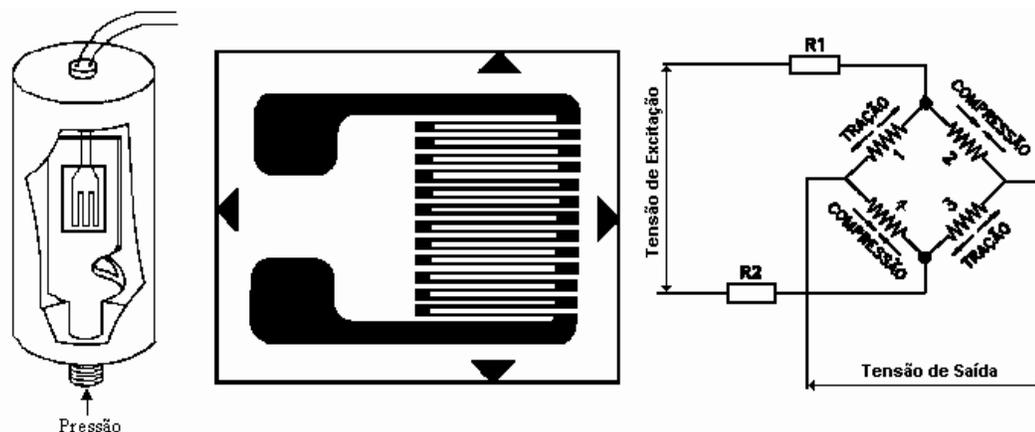


Como o fio solidário à lâmina, também sofrerá o alongamento, acompanhando a superfície externa, variando a resistência total.

Visando aumentar a sensibilidade do sensor, usaremos um circuito sensível à variação de resistência e uma configuração conforme esquema a seguir:



Notamos que a ligação ideal para um Strain Gauge com quatro tiras extensiométricas é o circuito em ponte de Wheatstone como mostrado a seguir, que tem a vantagem adicional de compensar as variações de temperatura ambiente, pois todos os elementos estão montados em um único bloco.



**Transmissor de Pressão**

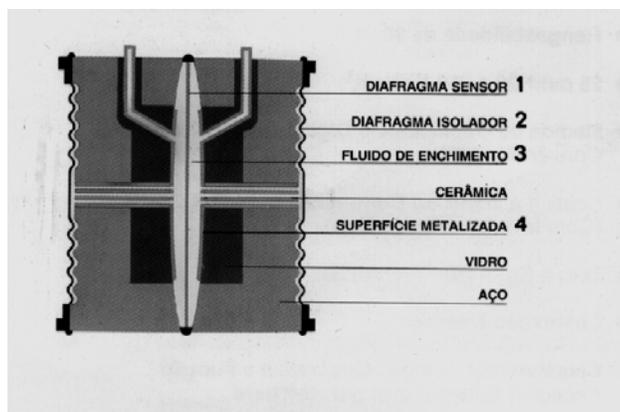
### 3.7 – Sensor tipo Capacitivo

A principal característica dos sensores capacitivos é a completa eliminação dos sistemas de alavancas na transferência da força / deslocamento entre o processo e o sensor.

Este tipo de sensor resume-se na deformação, diretamente pelo processo de uma das armaduras do capacitor. Tal deformação altera o valor da capacitância total que é medida pôr um circuito eletrônico.

Esta montagem, se pôr um lado, elimina os problemas mecânicos das partes móveis, expõe a célula capacitiva às rudes condições do processo, principalmente a temperatura do processo. Este inconveniente pode ser superado através de circuitos sensíveis a temperatura, montados juntos ao sensor.

Outra característica inerente à montagem é a falta de linearidade entre a capacitância e a distância das armaduras devido á deformação não linear, portanto se faz necessário uma compensação (linearização) a cargo do circuito eletrônico.



### Célula Capacitiva



### Transmissor de Pressão Diferencial

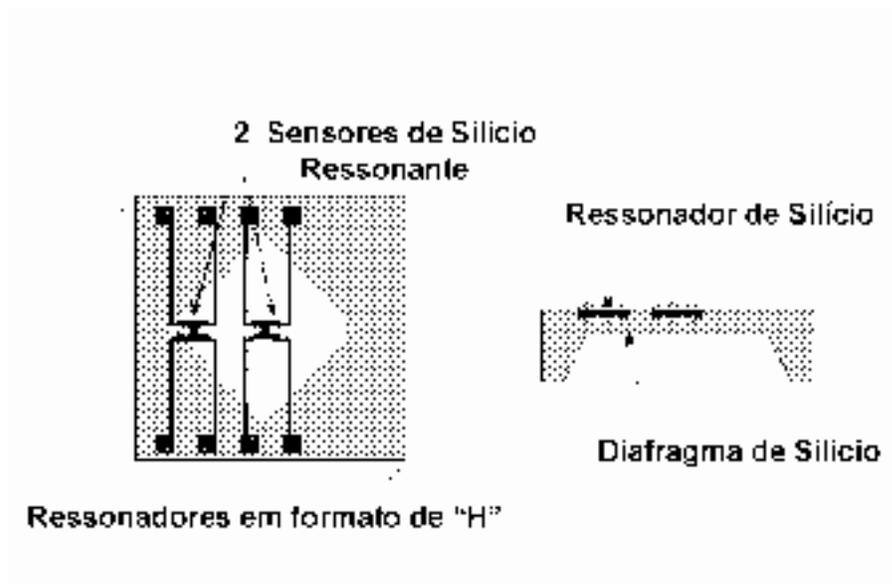
O sensor é formado pelos seguintes componentes:

- Armaduras fixas metalizadas sobre um isolante de vidro fundido
- Dielétrico formado pelo óleo de enchimento (silicone ou fluorube)
- Armadura móvel (Diafragma sensor)

Uma diferença de pressão entre as câmaras de alta (High) e de baixa (Low) produz uma força no diafragma isolador que é transmitida pelo líquido de enchimento. A força atinge a armadura flexível (diafragma sensor) provocando sua deformação, alterando, portanto o valor das capacitâncias formadas pelas armaduras fixas e a armadura móvel. Esta alteração é medida pelo circuito eletrônico que gera um sinal proporcional à variação de pressão aplicada à câmara da cápsula de pressão diferencial capacitiva.

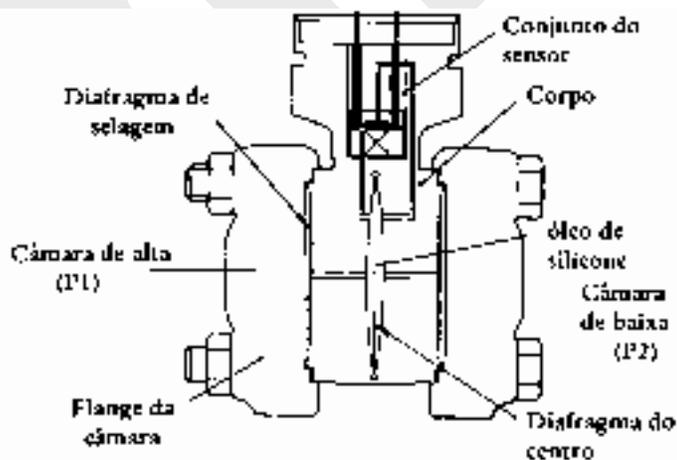
### 3.8 - Sensor tipo Silício Ressonante

O sensor consiste de uma cápsula de silício colocada estrategicamente em um diafragma, utilizando o diferencial de pressão para vibrar em maior ou menor intensidade, afim de que essa freqüência seja proporcional à pressão aplicada.



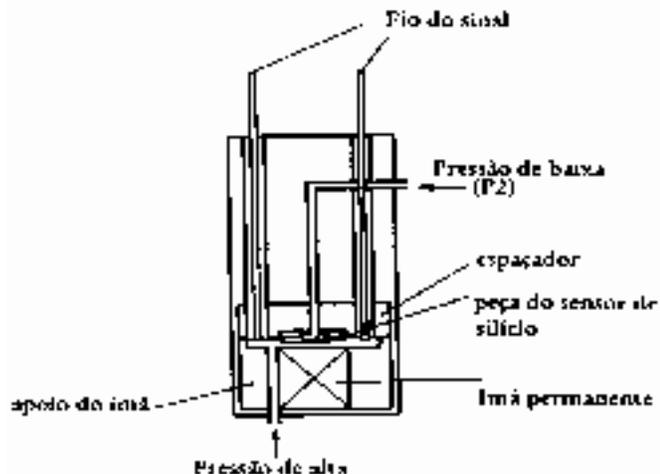
Na seqüência, será exibido maior detalhe sobre esse tipo de célula, sua construção e seu funcionamento.

#### 3.8.1 - Construção do sensor



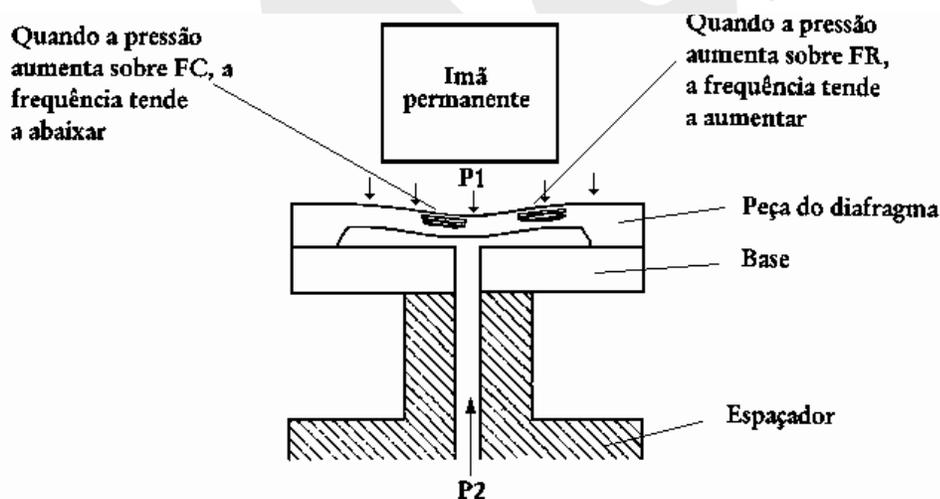
Todo o conjunto pode ser visto através da figura anterior, porém, para uma melhor compreensão de funcionamento deste transmissor de pressão, faz-se necessário desmembrá-lo em algumas partes vitais.

Na figura a seguir podemos ver o conjunto do sensor. Ele possui um ímã permanente e o sensor de silício propriamente dito.



Dois fatores que irão influenciar na ressonância do sensor de silício são: o campo magnético gerado por um ímã permanente posicionado sobre o sensor; o segundo será o campo elétrico gerado por uma corrente em AC (além das pressões exercidas sobre o sensor, obviamente).

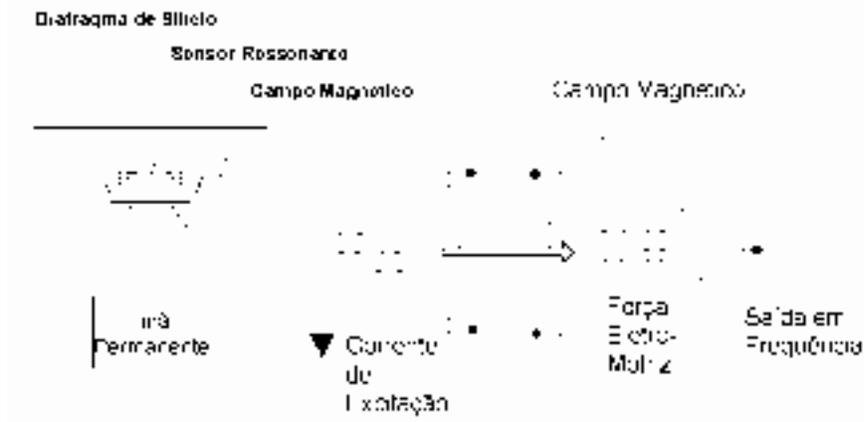
Este enfoque pode ser observado na figura abaixo.



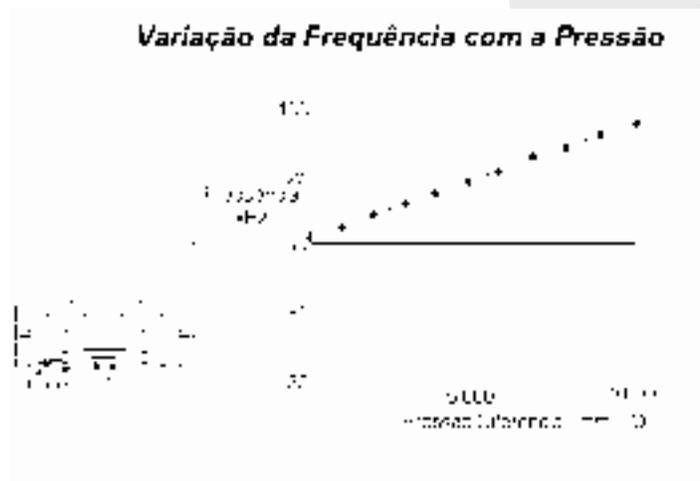
Portanto, a combinação do fator campo magnético /campo elétrico é responsável pela vibração do sensor. Um dos sensores ficará localizado ao centro do diafragma (FC), enquanto que o outro terá a sua disposição física mais à borda do diafragma (FR).

Por estarem localizadas em locais diferentes, porém, no mesmo encapsulamento, uma sofrerá uma compressão e a outra sofrerá uma tração conforme a aplicação de pressão sentida pelo diafragma.

Desta maneira, os sensores possuirão uma diferença de frequência entre si. Esta diferença pode ser sentida por um circuito eletrônico, tal diferença de frequência será proporcional ao  $\Delta P$  aplicado. Na figura a seguir é exibido o circuito eletrônico equivalente.



Através dessas informações é possível criar um gráfico referente aos pontos de operação da frequência x pressão.



**4 - EXERCÍCIOS:**

1 - Exercícios de conversão de unidades de pressão:

a) 20 PSI = \_\_\_\_\_ kgf/cm<sup>2</sup>

b) 200 mmH<sub>2</sub>O = \_\_\_\_\_ mmHg

c) 10 kgf/cm<sup>2</sup> = \_\_\_\_\_ mmH<sub>2</sub>O

2 - Determine o valor das seguintes pressões na escala absoluta:

a) 1180 mmHg = \_\_\_\_\_ PSla

b) 1250 kPa = \_\_\_\_\_ PSla

c) 22 PSlg = \_\_\_\_\_ PSla

3 - Determine o valor das pressões na escala relativa em mmHg:

a) 1390 mmHg (Abs) = \_\_\_\_\_ mmHg

b) 28 PSla = \_\_\_\_\_ mmHg

c) 32 mBar (Abs) = \_\_\_\_\_ mmHg

4 - Para a coluna a lado, determine:

a)  $P_1 = 500 \text{ mmHg}$     $P_2 = ? \text{ kgf/cm}^2$     $\rho = 1,0$     $h = 20 \text{ cm}$

b)  $P_1 = ? \text{ (PSI)}$     $P_2 = 15 \text{ " H}_2\text{O}$     $\rho = 13,6 \text{ (Hg)}$     $h = 150 \text{ mm}$

c)  $P_1 = 2,5 \text{ PSI}$     $P_2 = 0 \text{ (atm)}$     $\rho = ?$     $h = 10 \text{ "}$

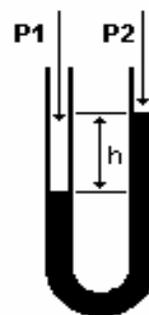


Tabela de Conversão - Unidades de Pressão

	psi	kPa	Polegadas H <sub>2</sub> O	mmH <sub>2</sub> O	Polegadas Hg	mmHg	Bar	m Bar	kgf/cm <sup>2</sup>	gf/cm <sup>2</sup>
psi	1	6,8947	27,7620	705,1500	2,0360	51,7150	0,0689	68,9470	0,0703	70,3070
kPa	0,1450	1	4,0266	102,2742	0,2953	7,5007	0,0100	10,0000	0,0102	10,1972
Polegadas H <sub>2</sub> O	0,0361	0,2483	1	25,4210	0,0734	1,8650	0,0025	2,4864	0,0025	2,5355
mmH <sub>2</sub> O	0,0014	0,0098	0,0394	1	0,0028	0,0734	0,0001	0,0979	0,0001	0,0982
Polegadas Hg	0,4912	3,3867	13,6200	345,9400	1	25,4000	0,0339	33,864	0,0345	34,532
mmHg	0,0193	0,1331	0,5362	13,6200	0,0394	1	0,0013	1,3332	0,0014	1,3595
Bar	14,5040	100,00	402,1800	10215,0000	29,5300	750,0600	1	1000	1,0197	1019,700
m Bar	0,0145	0,1000	0,402	10,2150	0,0295	0,7501	0,001	1	0,0010	1,0197
kgf/cm <sup>2</sup>	14,2230	97,9047	394,4100	10018,0	28,9590	735,560	0,9800	980,7000	1	1000
gf/cm <sup>2</sup>	0,0142	0,0970	0,3944	10,0180	0,0290	0,7356	0,0009	0,9807	0,001	1

Exemplo: 1 mmHg = 0,5362 pol, H<sub>2</sub>O = 1,3332 m Bar

97 mmHg = 97(0,5362) = 52,0114 pol, H<sub>2</sub>O

(97 mmHg = 97(1,3332) = 129,3204 m Bar

- **Unidades mais usuais:**

1 atm = 101,3248 KPa = 1,013248 bar = 14,6959 PSI = 1.03323 Kgf/cm<sup>2</sup> = 760 mmHg = 10332,28 mmH<sub>2</sub>O = 406,78 inH<sub>2</sub>O

---

## **CAPÍTULO 4: SELO REMOTO**

### **1 - TUBULAÇÃO DE IMPULSO**

- 1.1 - INSTALAÇÃO
- 1.2 - CONSTITUIÇÃO DA TUBULAÇÃO DE IMPULSO

### **2 - SISTEMAS DE SELAGEM**

- 2.1 - SELO LÍQUIDO
- 2.2 - SELO DE AR
- 2.3 - SELO VOLUMÉTRICO
- 2.4 - MANÔMETRO PETROQUÍMICO
- 2.5 - SELO SANITÁRIO

### **3 – PURGA**

- 3.1 - PURGA COM GÁS
- 3.2 - PURGA COM LÍQUIDO

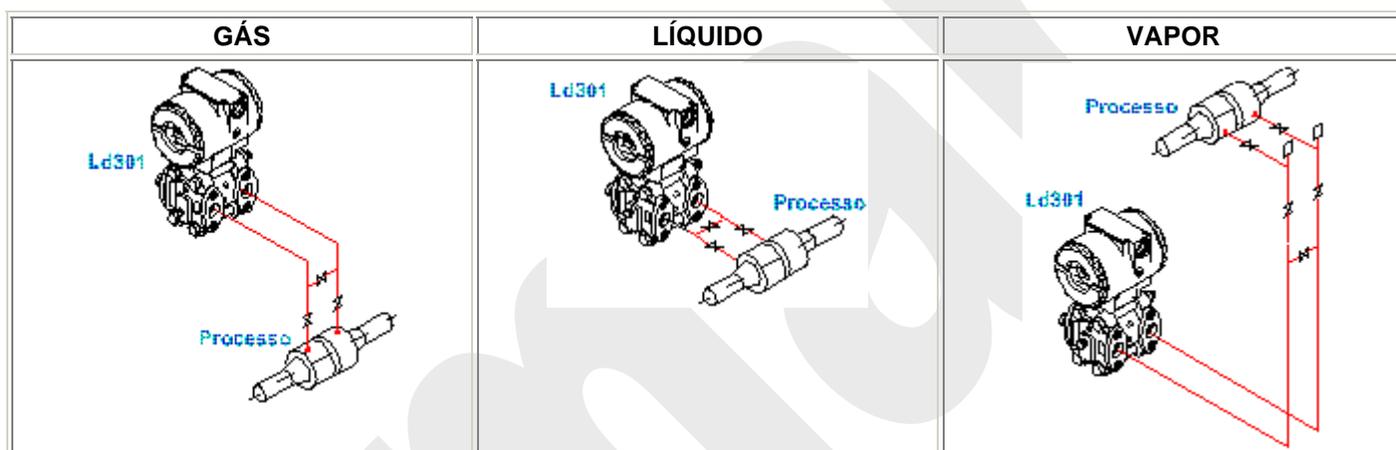
### **4 - SANGRIA**

## 1 – TUBULAÇÃO (ou TOMADA) DE IMPULSO

É a tubulação que liga a tomada de impulso a um instrumento de medição. É um componente do elemento sensível dos instrumentos que medem pressão, vazão e nível, sendo que estes dois últimos, somente quando o processo utilizar o sistema de pressão diferencial. Para instrumentos de pressão diferencial a tubulação deverá estar ligada às tomadas de impulso por meio de duas linhas.

### 1.1 – INSTALAÇÃO

Alguns exemplos de montagens, mostrando a localização do transmissor em relação à tomada, são apresentadas na figura abaixo.



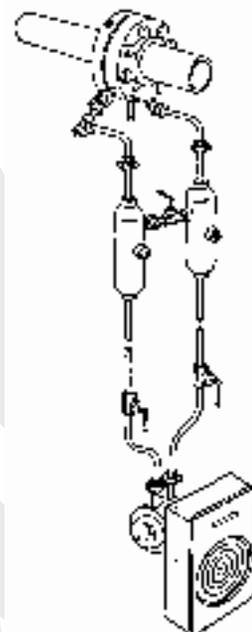
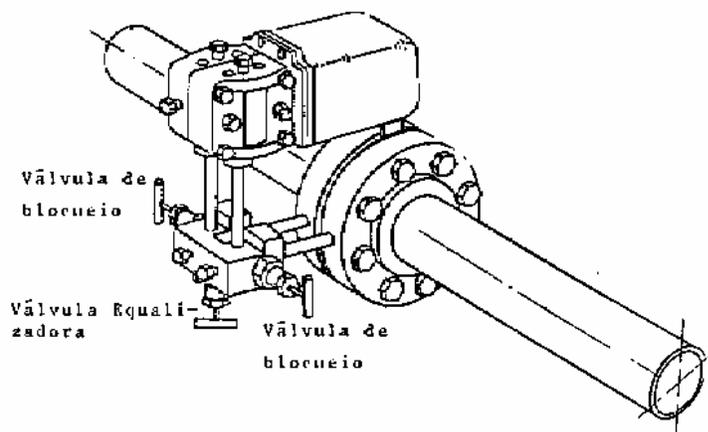
Quanto à posição do transmissor, recomenda-se obedecer à Tabela abaixo:

Fluido do Processo	Localização das Tomadas	Localização do TRM em relação à Tomada
Gás	Superior ou Lateral	Acima
Líquido	Lateral	Abaixo ou no mesmo nível
Vapor	Lateral	Abaixo usando-se câmara de condensação

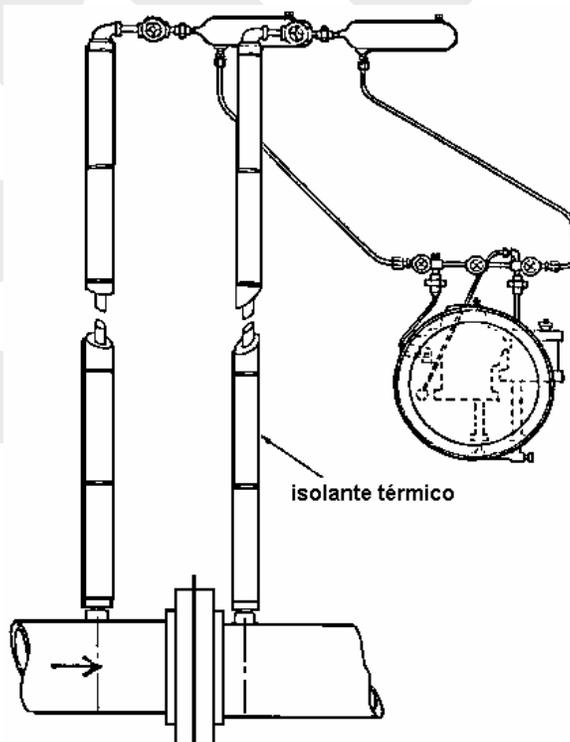
**TABELA: Localização das Tomadas de Pressão**

#### NOTA:

Com exceção de gases secos, as linhas de impulso devem ser inclinadas à razão de 1:10 para evitar o acúmulo de bolhas no caso de líquidos ou de condensado, no caso de vapor e gases úmidos.

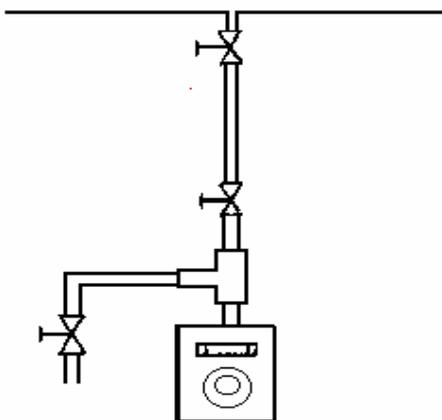


Quando o fluido a ser medido for vapor d'água, o instrumento será montado abaixo do elemento primário, ou conforme o desenho a seguir.



## 1.2 - Constituição da Tubulação de Impulso

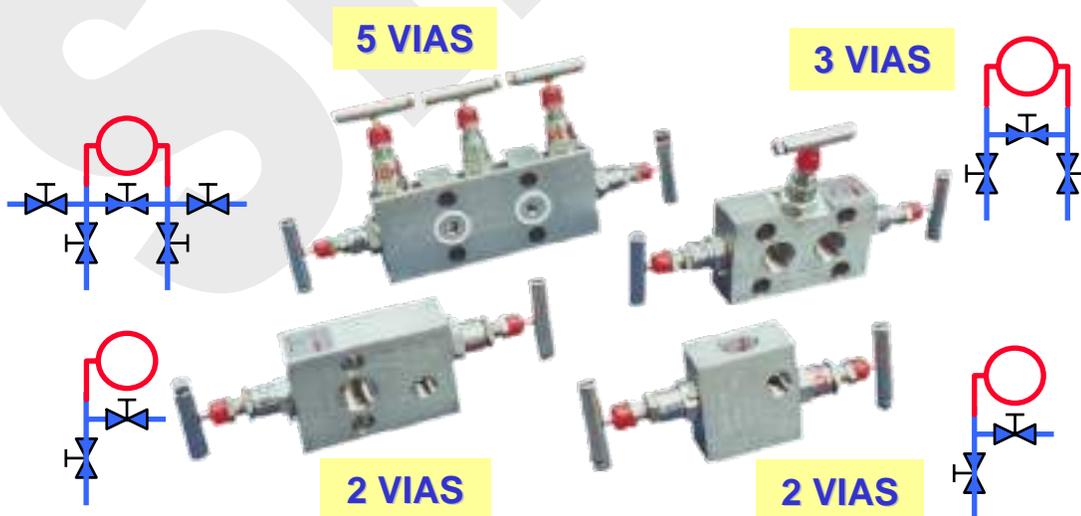
- Nipple de determinado diâmetro, fixado à tomada de impulso.
- Válvula de bloqueio.
- Tubo de determinado diâmetro ligando à válvula de bloqueio ao instrumento.
- Válvula de dreno, instalada perto do instrumento.



A válvula de bloqueio deverá ser instalada o mais próxima possível da tubulação de processo. A válvula de dreno tem por finalidade a despressurização e a drenagem da tomada de impulso.

Para instrumentos de pressão diferencial há duas tubulações de impulso: tubulação de impulso da câmara de alta e da câmara de baixa pressão.

Entre a tubulação de impulso de alta pressão e de baixa pressão, instala-se uma válvula para igualar as pressões das câmaras do instrumento. A esta válvula dá-se o nome de válvula equalizadora. O conjunto dessas válvulas é chamado "MANIFOLD".



A seleção do material para instalação das tomadas de impulso se baseia no tipo de fluido a ser medido, temperatura e pressão de operação do fluido, possibilidade de corrosão, distância entre o elemento primário e o instrumento.

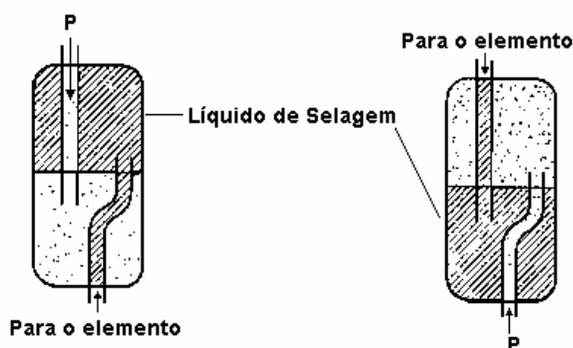
## 2 - SISTEMAS DE SELAGEM

Sistemas de selagem servem para evitar a corrosão e a cristalização dos produtos altamente viscosos que se solidificam à temperatura ambiente no interior do elemento de medição.

### 2.1 - Selo Líquido

O selo líquido é utilizado sempre que houver necessidade de que o elemento não entre em contato com o fluido a ser medido.

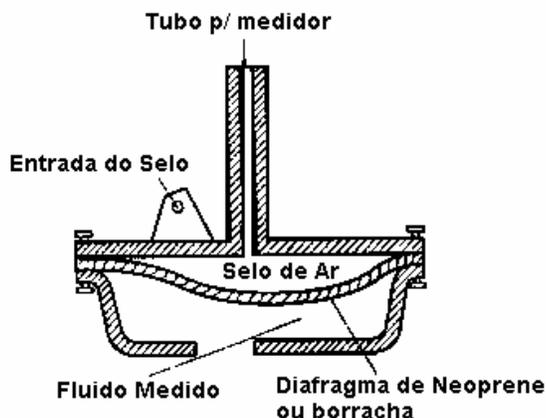
Geralmente este selo é colocado em potes. A pressão exercida pelo processo de acordo com a densidade, irá pressionar o líquido de selo para o elemento.



Os líquidos para selagem podem ser: mistura de glicerina e água, mistura de etileno, glicol e água, querosene, óleo etc.

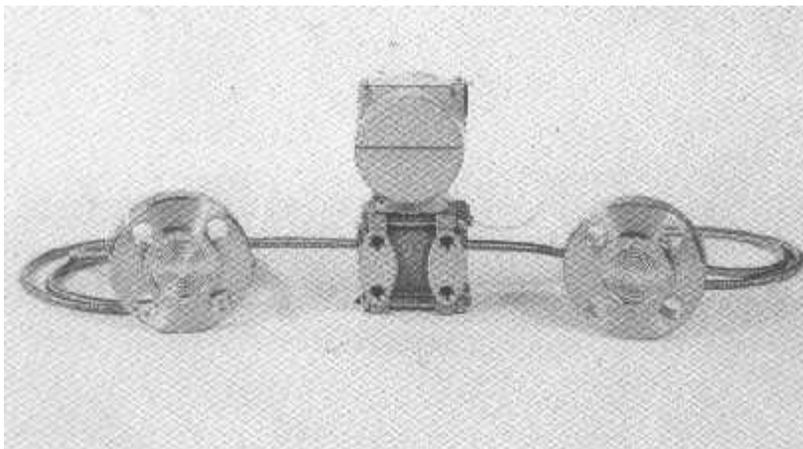
### 2.2 - Selo de Ar

Consiste em uma câmara selada e um capilar onde existe um diafragma que irá se deslocar de acordo com as variações de pressão do processo. Este tipo de selo é usado para medir pressões baixas.



### 2.3 - Selo Volumétrico

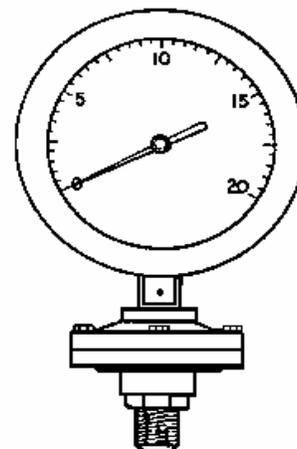
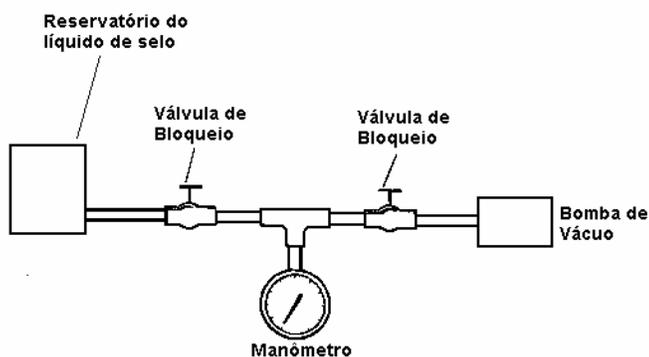
Consiste em uma câmara selada e um capilar que está ligado diretamente ao elemento. Nessa câmara existe um diafragma que irá pressionar o líquido de selo pelo capilar ao elemento. O deslocamento será proporcional à pressão exercida pelo processo sobre o diafragma. A faixa mínima recomendada para os medidores desse tipo é de  $3 \text{ Kg/cm}^2$ , sendo o comprimento do capilar de 15 m no máximo.



### 2.4 - Manômetro Petroquímico

É um manômetro equipado com membrana de selagem química. O sistema com Bourdon e selo líquido.

O método para se encher o Bourdon com óleo selante sem deixar ar preso na sua extremidade é o seguinte: primeiro fazemos o vácuo no Bourdon e depois abrimos o líquido que acaba preenchendo todo o volume do Bourdon.



## 2.5 – Selo Sanitário

É o tipo de selo que é utilizado nas indústrias alimentícias. Sua conexão ao processo é feita através de um grampo para facilitar sua remoção quando é feita a higienização do processo.

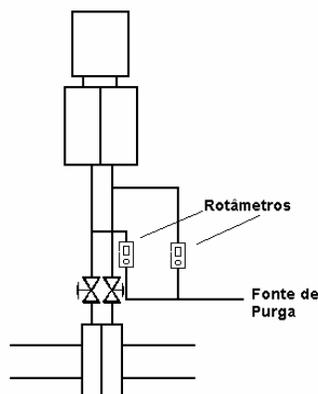


## 3 – PURGA

É utilizado para evitar que os medidores tomem contato direto com fluidos que possam causar danos ou falhas no seu funcionamento.

### 3.1 - Purga com gás

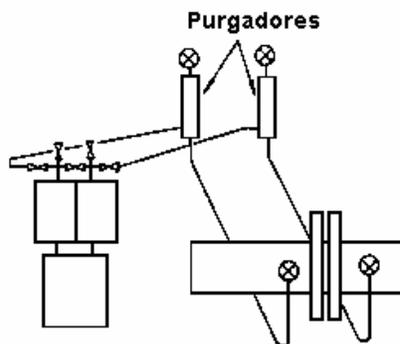
A vazão da purga deve ser mantida constante, como medida de precaução para o funcionamento dos medidores. Instala-se um rotâmetro para se obter a indicação de vazão de purga.



### 3.2 - Purga com líquido

Utiliza-se purga com água ou outro líquido adequado quando o líquido a ser medido for corrosivo ou contiver sólidos em suspensão ou tender a cristalizar-se com a mudança de temperatura.

Quando o líquido for sujeito à formação de gases, são instalados purgadores nas tubulações de impulso.



#### 4 – SANGRIA

Todas as vezes que em instrumentação se realiza uma operação de manutenção num sistema hidráulico, deve-se extrair o ar que se introduziu no sistema.

A facilidade de compressão do ar absorve a pressão transmitida pelo líquido perdendo sua efetividade.

Na instrumentação, a sangria é usada em instrumentos que trabalham com câmaras de compressão, quando for um líquido ou houver sistemas de selagem.

---

## **CAPÍTULO 5: MEDIÇÃO DE NÍVEL**

### **1 – INTRODUÇÃO**

### **2 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE LÍQUIDO**

#### **2.1 – MEDIÇÃO DIRETA**

2.1.1 – RÉGUA OU GABARITO

2.1.2 – VISORES DE NÍVEL

2.1.3 – BÓIA OU FLUTUADOR

#### **2.2 – MEDIÇÃO INDIRETA**

2.2.1 – MEDIÇÃO DE NÍVEL POR PRESSÃO

2.2.2 – MEDIÇÃO DE NÍVEL POR PRESSÃO DIFERENCIAL EM TANQUES FECHADOS E PRESSURIZADOS

2.2.3 – MEDIÇÃO DE NÍVEL COM BORBULHADOR

2.2.4 – MEDIÇÃO DE NÍVEL POR EMPUXO

2.2.5 – MEDIÇÃO DE NÍVEL COM RAIOS GAMA

2.2.6 – MEDIÇÃO DE NÍVEL CAPACITIVO

2.2.7 - MEDIÇÃO DE NÍVEL POR ULTRASOM

2.2.8 - MEDIÇÃO DE NÍVEL POR RADAR

#### **2.3 – MEDIDORES DESCONTÍNUOS DE NÍVEL**

### **3 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE SÓLIDOS**

### **4 – EXERCÍCIOS**

## 1 – INTRODUÇÃO

Nível é a altura do conteúdo de um reservatório. O conteúdo pode ser sólido ou líquido.

Através da determinação de nível de um reservatório temos condições:

- Avaliar o estoque de tanques de armazenamento.
- Controle de processos contínuos onde existam volumes líquidos ou sólidos de acumulação temporária, amortecimento, mistura, residência, etc.
- Segurança de alguns processos onde o nível do produto não pode ultrapassar uma determinada faixa.

## 2 – MÉTODOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEL DE LÍQUIDO

Os três métodos básicos de medição de nível são:

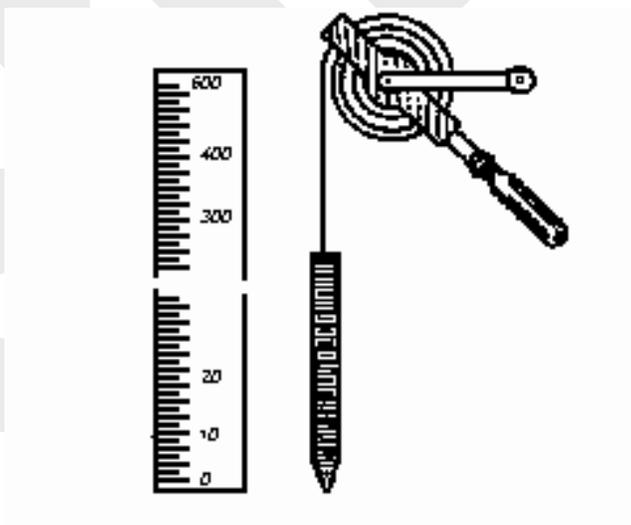
- direto
- indireto
- descontínuo

### 2.1 - MEDIÇÃO DIRETA

É a medição que tomamos como referência em relação à posição do plano superior da substância medida. Neste tipo de medição podemos utilizar réguas ou gabaritos, visores de nível, bóia ou flutuador.

#### 2.1.1 - Régua ou Gabarito

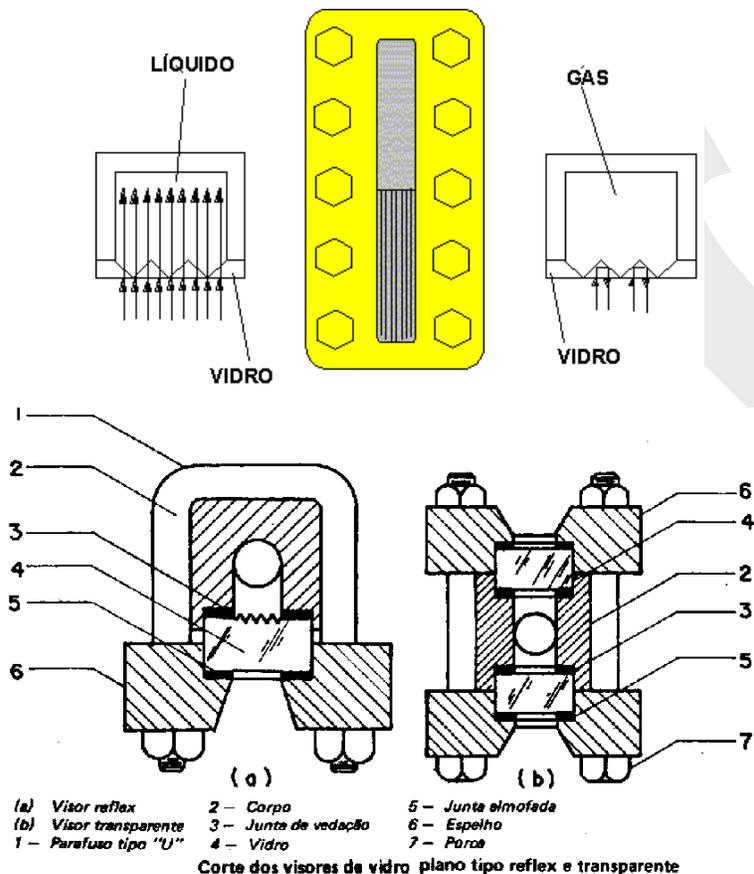
Consiste em uma régua graduada a qual tem um comprimento conveniente para ser introduzida dentro do reservatório a ser medido.

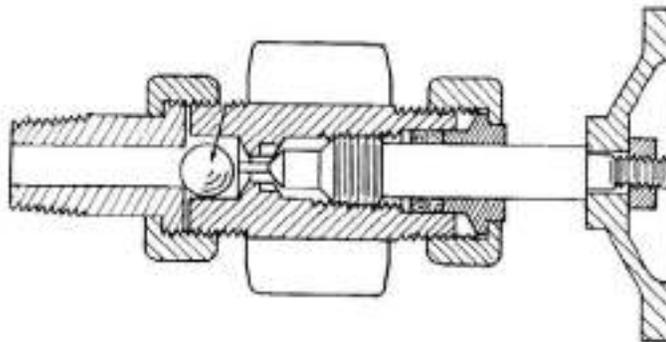


A determinação do nível se efetuará através da leitura direta do comprimento molhado na régua pelo líquido.

### 2.1.2 - Visores de Nível

Este medidor usa o princípio dos vasos comunicantes, o nível é observado por um visor de vidro especial, podendo haver uma escala graduada acompanhando o visor. Esta medição é feita em tanques abertos e tanques fechados.

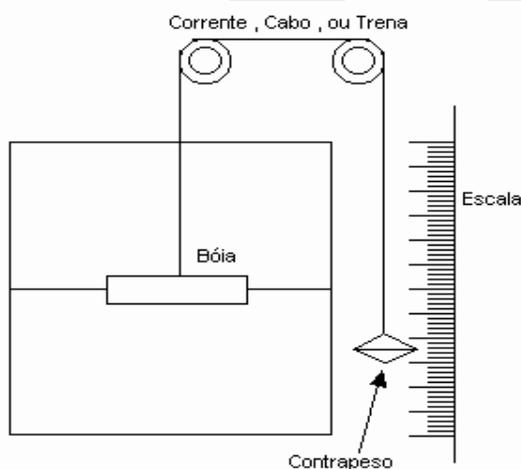




A válvula apresentada acima é o tipo de válvula que deve ser utilizada nos visores de nível com dupla função: a de bloquear no caso de manutenção e de segurança no caso de quebra dos vidros.

### 2.1.3 - Bóia ou Flutuador

Consiste numa bóia presa a um cabo que tem sua extremidade ligada a um contrapeso. No contrapeso está fixo um ponteiro que indicará diretamente o nível em uma escala. Esta medição é normalmente encontrada em tanques abertos.

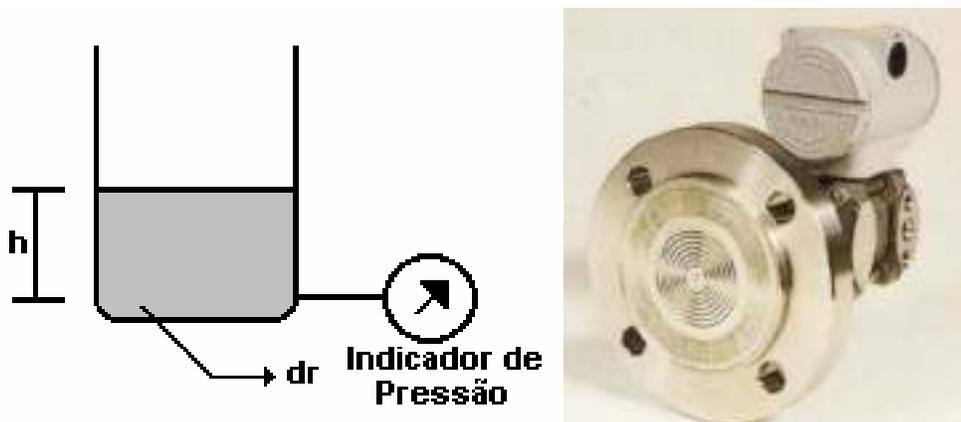


## 2.2 - MEDIÇÃO INDIRETA

Neste tipo de medição são usadas propriedades físicas ao nível como: pressão, empuxo, radiação e propriedades elétricas.

### 1.2.1 - Medição de Nível por Pressão

Neste tipo de medição usamos a pressão exercida pela altura da coluna líquida, para medirmos indiretamente o nível, como mostra abaixo o Teorema de Stevin:



$$P = h \cdot \rho$$

Onde

P = Pressão em mm H<sub>2</sub>O ou polegada H<sub>2</sub>O

h = nível em mm ou em polegada

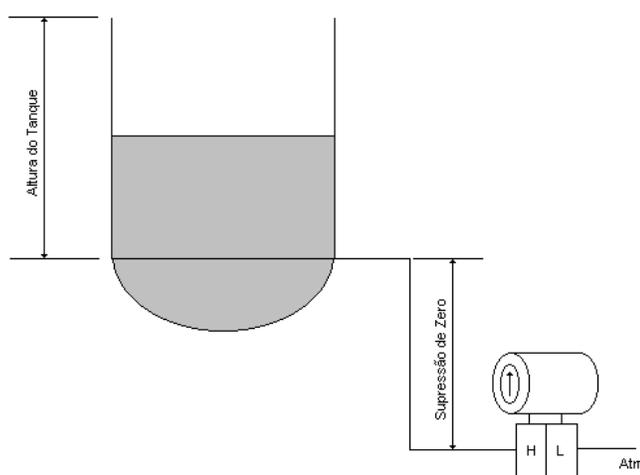
$\rho$  = densidade relativa do líquido em relação à água na temperatura ambiente.

A medida mais apropriada para esse tipo de medição é o mm ou polegada de H<sub>2</sub>O.

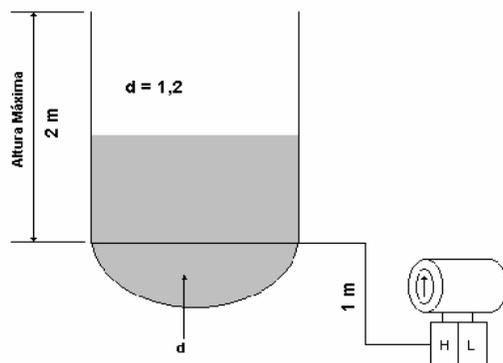
### 2.2.1.1 - Supressão de Zero

Para maior facilidade de manutenção e acesso ao instrumento, muitas vezes o transmissor é instalado abaixo do tanque. Outras vezes a falta de plataforma fixadora em torno de um tanque elevado resulta na instalação de um instrumento em um plano situado em nível inferior à base do tanque.

Em ambos os casos, uma coluna líquida se formará com a altura do líquido dentro da tomada de impulso, se o problema não for contornado, o transmissor indicaria um nível superior ao real.



A seguir apresentaremos um exemplo de cálculo de pressão para este tipo de montagem.



a) Quando o nível estiver em 0%:

$$P_{0\%} = h \cdot d$$

$$P_{0\%} = 1000 \cdot 1,2$$

$$P_{0\%} = 1200 \text{ mmH}_2\text{O}$$

b) Quando o nível estiver em 100%:

$$P_{100\%} = h \cdot d$$

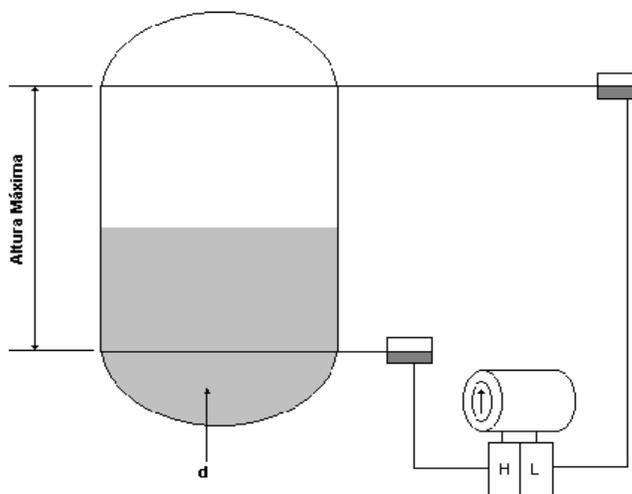
$$P_{100\%} = (2000 + 1000) \cdot 1,2$$

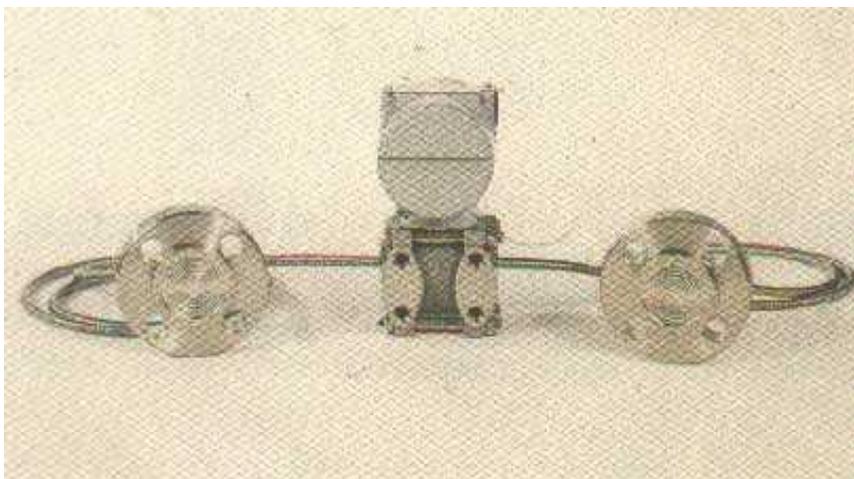
$$P_{100\%} = 3000 \cdot 1,2$$

$$P_{100\%} = 3600 \text{ mmH}_2\text{O}$$

### 2.2.2 - Medição de Nível por Pressão Diferencial em Tanques Fechados e Pressurizados.

Neste tipo de medição, a tubulação de impulso da parte de baixo do tanque é conectada à câmara de alta pressão do transmissor de nível. A pressão atuante na câmara de alta é a soma da pressão exercida sob a superfície do líquido e a pressão exercida pela coluna de líquido no fundo do reservatório. A câmara de baixa pressão do transmissor de nível é conectada na tubulação de impulso da parte de cima do tanque onde mede somente a pressão exercida sob a superfície do líquido.



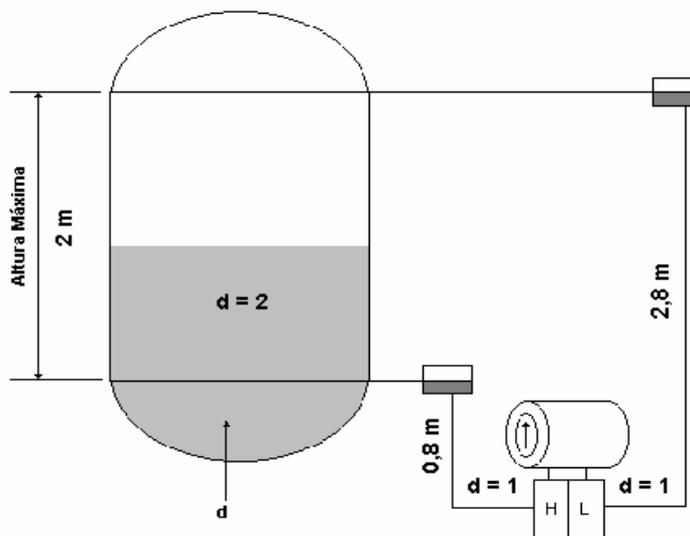


### 2.2.2.1 - Elevação de Zero

Quando o fluido do processo possuir alta viscosidade, ou quando o fluido se condensa nas tubulações de impulso, ou ainda no caso do fluido ser corrosivo, devemos utilizar um sistema de selagem nas tubulações de impulso, das câmaras de baixa e alta pressão do transmissor de nível. Selam-se então ambas as tubulações de impulso, bem como as câmaras do instrumento.

Na figura acima, apresenta-se um sistema de medição de nível com selagem, no qual deve ser feita a elevação, que consiste em anular-se a pressão da coluna líquida na tubulação de impulso da câmara de baixa pressão do transmissor de nível.

A seguir apresentaremos um exemplo de cálculo de pressão diferencial para este tipo de montagem.



a) Quando o nível estiver em 0%:

$$\Delta P_{0\%} = P_H - P_L$$

$$\Delta P_{0\%} = (h_H \cdot d_H) - (h_L \cdot d_L)$$

$$\Delta P_{0\%} = (800 \cdot 1) - (2800 \cdot 1)$$

$$\Delta P_{0\%} = (800) - (2800)$$

$$\Delta P_{0\%} = -2000 \text{ mmH}_2\text{O}$$

onde

$P_H$  = pressão na câmara de alta  
 $P_L$  = pressão na câmara de baixa  
 $h_H$  = altura da coluna líquida na câmara de alta  
 $d_H$  = densidade do líquido da câmara de alta  
 $h_L$  = altura da coluna líquida na câmara de baixa  
 $d_L$  = densidade do líquido da câmara de baixa

b) Quando o nível estiver em 100%:

$$\Delta P_{100\%} = P_H - P_L$$

$$\Delta P_{100\%} = [ ( h_{CLP} \cdot d_{CLP} ) + ( h_H \cdot d_H ) ] - ( h_L \cdot d_L )$$

$$\Delta P_{100\%} = [ ( 2000 \cdot 2 ) + ( 800 \cdot 1 ) ] - ( 2800 \cdot 1 )$$

$$\Delta P_{100\%} = [ ( 4000 + 800 ) ] - ( 2800 )$$

$$\Delta P_{100\%} = 4800 - 2800$$

$$\Delta P_{100\%} = 2000 \text{ mmH}_2\text{O}$$

onde:

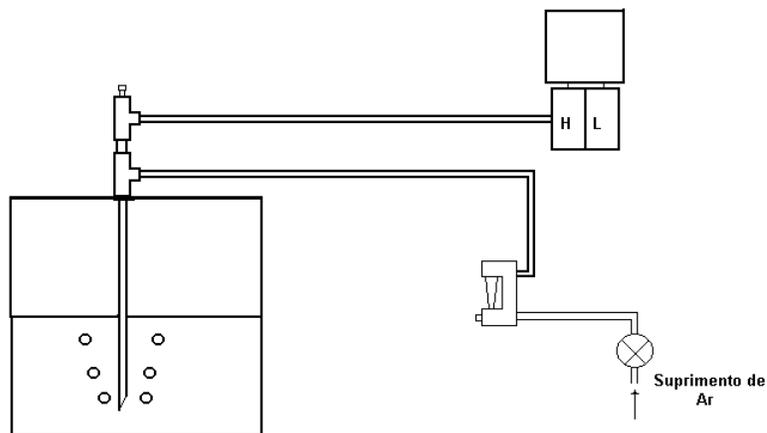
$P_H$  = pressão na câmara de alta  
 $P_L$  = pressão na câmara de baixa  
 $h_H$  = altura da coluna líquida na câmara de alta  
 $d_H$  = densidade do líquido da câmara de alta  
 $h_L$  = altura da coluna líquida na câmara de baixa  
 $d_L$  = densidade do líquido da câmara de baixa  
 $h_{CLP}$  = altura da coluna líquida do processo  
 $d_{CLP}$  = densidade do líquido do processo

### 2.2.3 - Medição de Nível com Borbulhador

Com o sistema de borbulhador podemos detectar o nível de líquidos viscosos, corrosivos, bem como de quaisquer líquidos à distância.

Neste sistema necessitamos de um suprimento de ar ou gás e uma pressão ligeiramente superior à máxima pressão hidrostática exercida pelo líquido. Este valor normalmente é ajustado para aproximadamente 20% a mais que a máxima pressão hidrostática exercida pelo líquido. O sistema borbulhador engloba uma válvula agulha, um recipiente com líquido na qual o ar ou gás passará pelo mesmo e um indicador de pressão.

Ajustamos a vazão de ar ou gás até que se observe a formação de bolhas em pequenas quantidades. Um tubo levará esta vazão de ar ou gás até o fundo do vaso a qual queremos medir seu nível, teremos então um borbulhamento bem sensível de ar ou gás no líquido o qual queremos medir o nível. Na tubulação pela qual fluirá o ar ou gás, instalamos um indicador de pressão que indicará um valor equivalente à pressão devido ao peso da coluna líquida. Nota-se que teremos condições de instalar o medidor à distância.



## 2.2.4 - Medição de Nível por Empuxo

### 2.2.4.1 Princípio de Arquimedes

“Todo o corpo mergulhado em um fluido sofre a ação de uma força vertical dirigida de baixo para cima igual ao peso do volume do fluido deslocado”.

A esta força exercida pelo fluido do corpo nele submerso ou flutuante chamamos de empuxo.

$$E = V \cdot \delta$$

Onde:

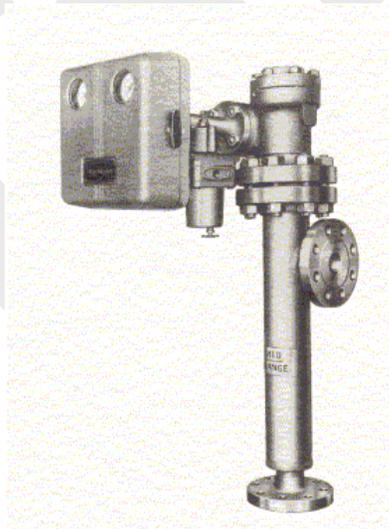
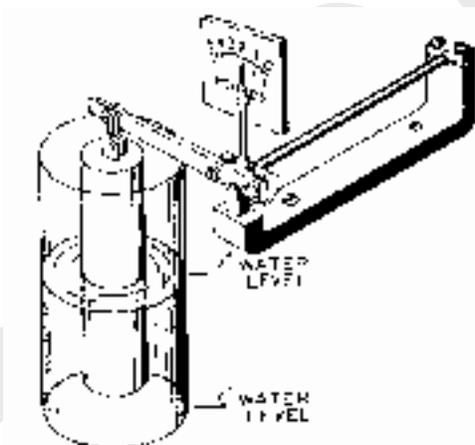
E = empuxo

V = volume

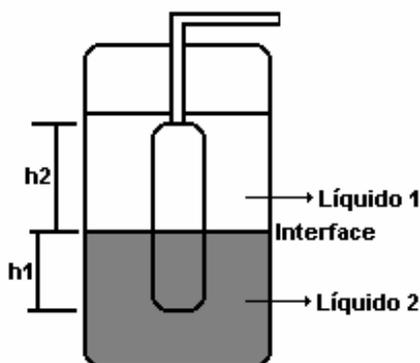
$\delta$  = densidade ou peso específico do líquido

Baseado no princípio de Arquimedes usa - se um deslocador (displacer) que sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitindo para um indicador este movimento, por meio de um tubo de torque.

O medidor deve ter um dispositivo de ajuste para densidade do líquido cujo nível estamos medindo, pois o empuxo varia com a densidade.



### 2.2.4.2 - Medição de Nível de Interface



Podemos definir interface como sendo o ponto comum entre dois fluidos não miscíveis. Na indústria muitas vezes temos que medir o nível da interface em um tanque contendo dois líquidos diferentes. Este fato ocorre em torres de destilação, torres de lavagem, decantadores etc.

Um dos métodos mais utilizados para a medição da interface é através da variação do empuxo conforme citaremos a seguir. Consideremos um flutuador de forma cilíndrico mergulhado em 2 líquidos com pesos específicos diferentes  $\delta_1$  e  $\delta_2$ .

Desta forma, podemos considerar que o empuxo aplicado no flutuador será a soma dos empuxos  $E_1$  e  $E_2$  aplicados no cilindro, pelos líquidos de pesos específicos  $\delta_1$  e  $\delta_2$ , respectivamente. O empuxo será dado pôr:

$$E_t = E_1 + E_2$$

onde

$$E_1 = V_1 \cdot \delta_1$$

$$E_2 = V_2 \cdot \delta_2$$

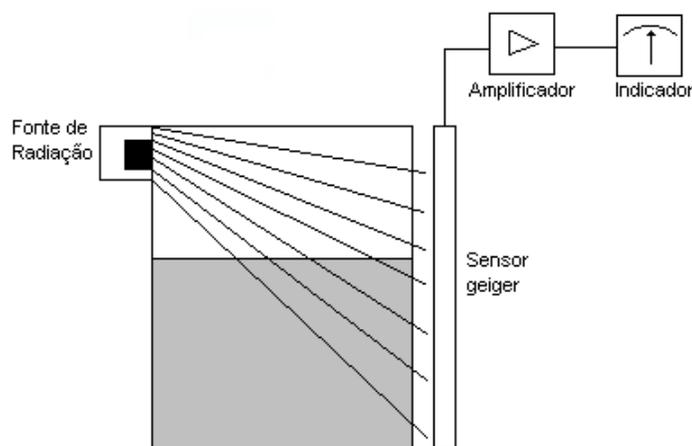
Assim para diferentes valores de altura de interface, teremos diferentes variações de empuxo.

### 2.2.5 - Medição de Nível com Raios Gamas

Os medidores que utilizam radiações nucleares se distinguem pelo fato de serem completamente isentos do contato com os produtos que estão sendo medidos. Além disso, dispensando sondas ou outras técnicas que mantêm contato com sólidos ou líquidos tornando-se possível, em qualquer momento, realizar a manutenção desses medidores, sem a interferência ou mesmo a paralisação do processo.

Dessa forma os medidores que utilizam radiações podem ser usados para indicação e controle de materiais de manuseio extremamente difíceis e corrosivos, abrasivos, muito quentes, sob pressões elevadas ou de alta viscosidade.

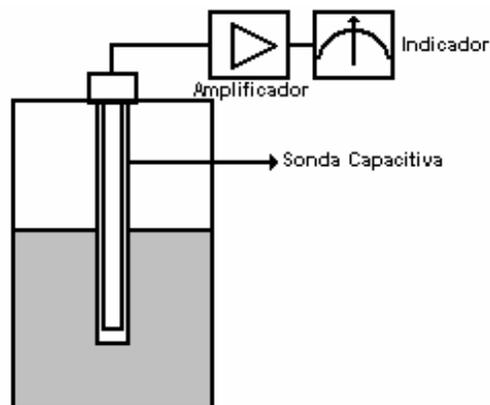
O sistema de medição por raios gama consiste em uma emissão de raios gama montado verticalmente na lateral do outro lado do tanque terá uma câmara de ionização que transforma a radiação Gama recebida em um sinal elétrico de corrente contínua. Como a transmissão dos raios é inversamente proporcional à altura do líquido do tanque, a radiação captada pelo receptor é inversamente proporcional ao nível do líquido do tanque, já que o material bloquearia parte da energia emitida.



### 2.2.6 - Medição de Nível Capacitivo

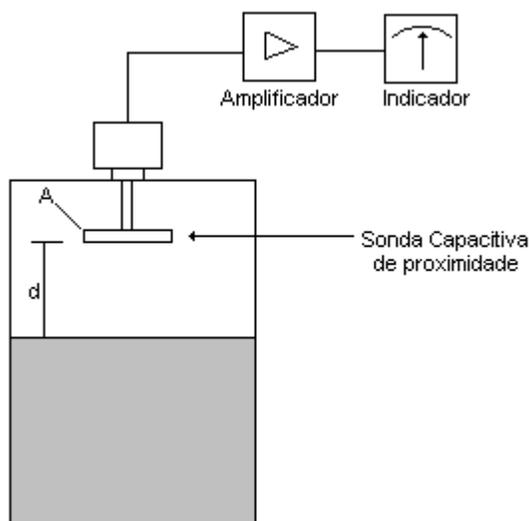
A capacitância é uma grandeza elétrica que existe entre duas superfícies condutoras isoladas entre si. O medidor de nível capacitivo mede as capacidades do capacitor formado pelo eletrodo submerso no líquido em relação às paredes do tanque. A capacidade do conjunto depende do nível do líquido.

O elemento sensor, geralmente é uma haste ou cabo flexível de metal. Em líquidos não condutores se empregam eletrodos normais, em fluidos condutores o eletrodo é isolado normalmente com teflon. À medida que o nível do tanque for aumentando o valor da capacitância aumenta progressivamente à medida que o dielétrico ar é substituído pelo dielétrico líquido a medir.



A capacitância é convertida por um circuito eletrônico numa corrente elétrica sendo este sinal indicado em um medidor.

A medição de nível por capacitância também pode ser feita sem contato, através de sondas de proximidade. A sonda consiste de um disco compondo uma das placas do capacitor. A outra placa é a própria superfície do produto ou a base do tanque.



## 2.2.7 – Medição de Nível por Ultra-som

### 2.2.7.1 – Aplicação

Os dispositivos do tipo ultra-sônico podem ser usados para a detecção contínua de nível, além de poderem atuar como sensores de nível pré-determinado (chave de nível).

Os dispositivos destinados à detecção contínua de nível caracterizam-se, principalmente, pelo tipo de instalação, ou seja, os transdutores podem encontrar-se totalmente submersos no produto, ou instalados no topo do equipamento sem contato com o produto.

### 2.2.7.2 - Princípios Físicos

O ultra-som é uma onda sonora, cuja frequência de oscilação é maior que aquela sensível pelo ouvido humano, isto é, acima de 20 KHz.

A geração ocorre quando uma força externa excita as moléculas de um meio elástico, esta excitação é transferida de molécula a molécula do meio, com uma velocidade que depende da elasticidade e inércia das moléculas. A propagação do ultra-som depende, portanto, do meio.

Dependendo do meio, faremos a distinção da propagação nos sólidos, líquidos e gases.

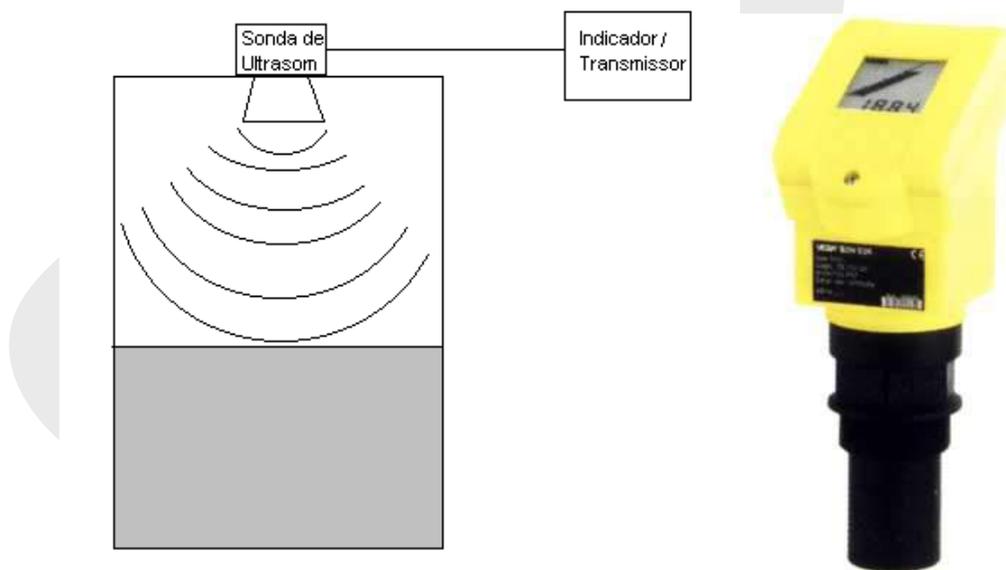
Assim sendo, a velocidade do som é a base para a medição através da técnica de eco, usada nos dispositivos ultrassônicos.

### 2.2.7.3 - Geração do Ultra-som

As ondas de ultra-som são geradas e captadas pela excitação elétrica de materiais piezoelétricos.

A característica marcante dos materiais piezoelétricos é produção de uma frequência quando aplicamos uma tensão elétrica. Assim sendo, eles podem ser usados como gerador de ultra-som, compondo, portanto, os transmissores.

Inversamente, quando se aplica uma força em uma material piezoelétrico, ou seja, quando ele recebe um sinal de frequência, resulta o aparecimento de uma tensão elétrica no seu terminal. Nesta modalidade, o material piezoelétrico é usado como receptor do ultra-som.



## 2.2.8 – Medição de Nível por Radar

### 2.2.8.1 – Princípio de Operação

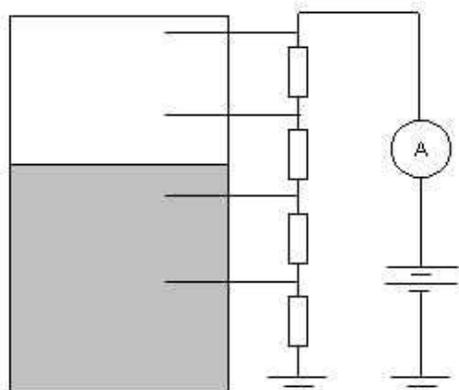
O sinal de radar é emitido por uma antena, que reflete na superfície do produto, e retorna novamente depois de um intervalo de tempo que é proporcional a distância entre a antena e a superfície do produto. A sinal é gerado por um sistema chamado FMCW ( Frequency Modulated Continuous Wave ). Esta frequência gerada é da ordem de 8,5 a 9,9 Ghz.

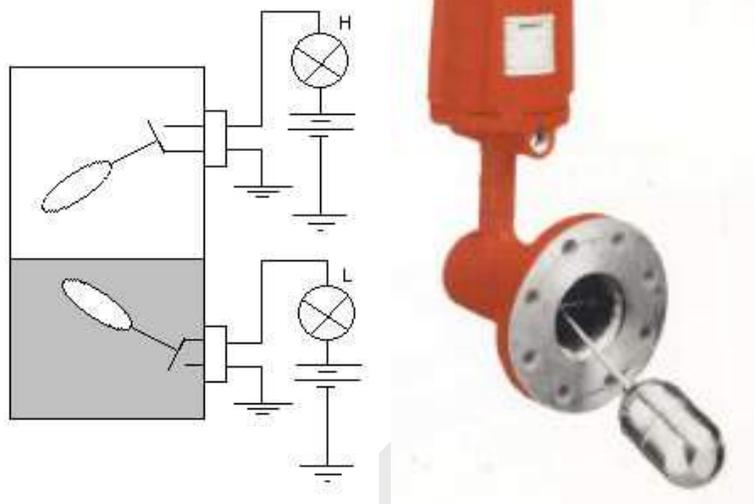
### 2.2.8.2 – Aplicação

Serve para medir distância, nível, volume, líquidos com espumas, tanques de armazenamento com agitadores etc.



## 2.3 - Medidores Descontínuos de Nível





Estes medidores são empregados para fornecer indicação apenas quando o nível atinge certos pontos desejados.

Nos líquidos que conduzem eletricidade, podemos mergulhar eletrodos metálicos de comprimento diferente. Quando houver condução entre os eletrodos teremos a indicação de que o nível atingiu a altura do último eletrodo alcançado pelo líquido.

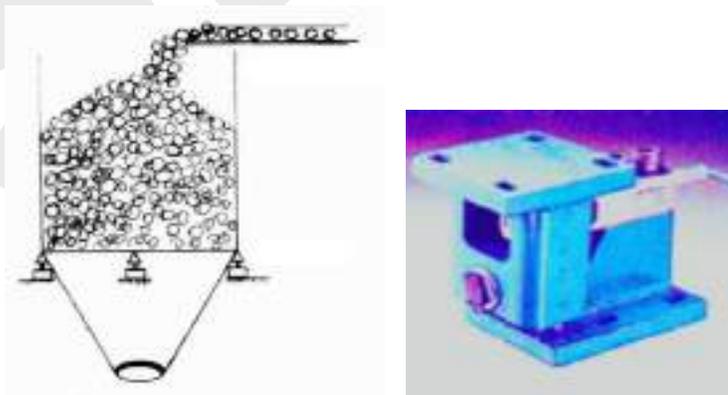
### 3 - Métodos de Medição de Nível de Sólidos

É necessário medir o nível dos sólidos, geralmente em forma de pó ou grãos, em silos, altos - fornos etc., pelos mesmos motivos da medição de nível dos líquidos.

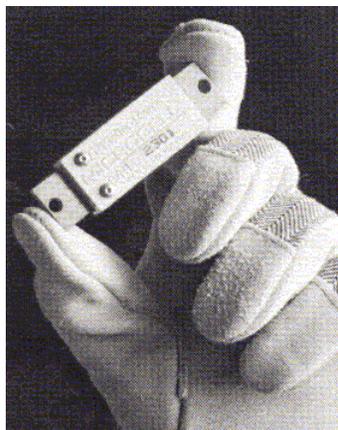
Esta medição é comumente feita por dispositivos eletromecânicos, onde é colocada uma sonda sobre a carga ou conteúdo. O cabo da sonda movimenta um transdutor eletromecânico, que envia um sinal para um indicador, cuja escala é graduada para nível.

Em algumas aplicações mais recentes, é muito comum as indústrias utilizarem células de cargas, como mostra a figura abaixo.

Para se instalar este tipo de sensor, é necessário que se corte os “pés dos silos”, para que o mesmo fique apoiado sobre o sensor, conforme mostra a figura abaixo.



Mais recentemente foram desenvolvidas novas células de cargas, que não necessitam mais cortar as estruturas dos silos. Elas estão presas na estrutura do silo apenas com dois parafusos. Elas conseguem perceber a modificação da estrutura do material metálico a qual estão presas. A figura abaixo mostra o aspecto físico destas células de cargas.

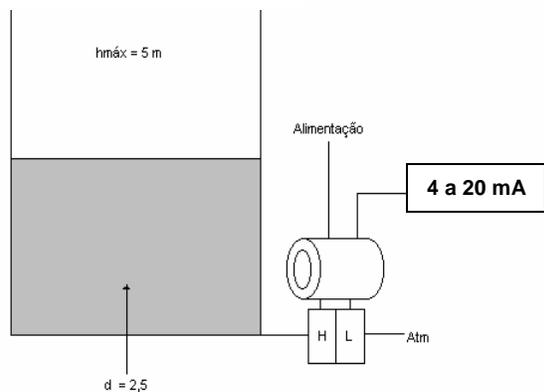


Também são usados raios gama, capacitivo, ultras-som para determinar o nível de sólidos.

**4 - EXERCÍCIOS:**

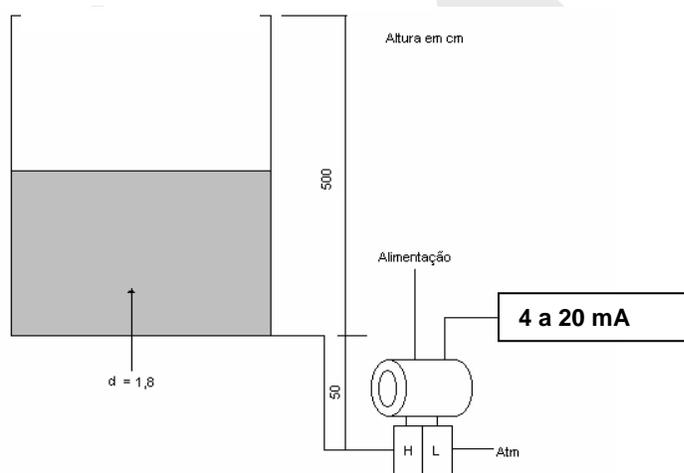
1 - Determinar:

- a) Range do instrumento: \_\_\_\_\_ inH<sub>2</sub>O
- b) Saída do instrumento quando o nível for 78%: \_\_\_\_\_ mA



2 - Determinar:

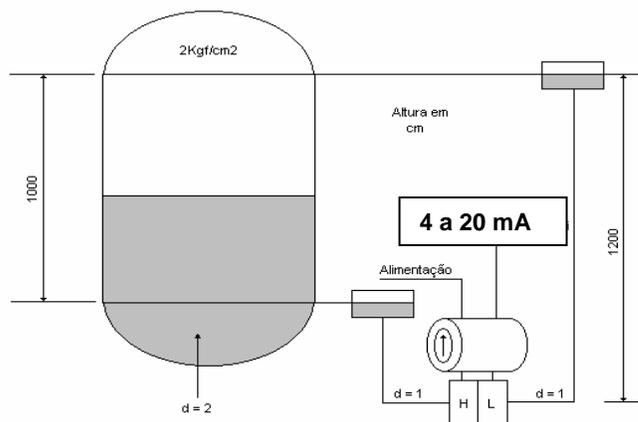
- a) Range do instrumento: \_\_\_\_\_ inH<sub>2</sub>O
- b) Saída do instrumento quando o nível for 37%: \_\_\_\_\_ mA
- c) Nível quando a saída for 11,2 mA: \_\_\_\_\_ %



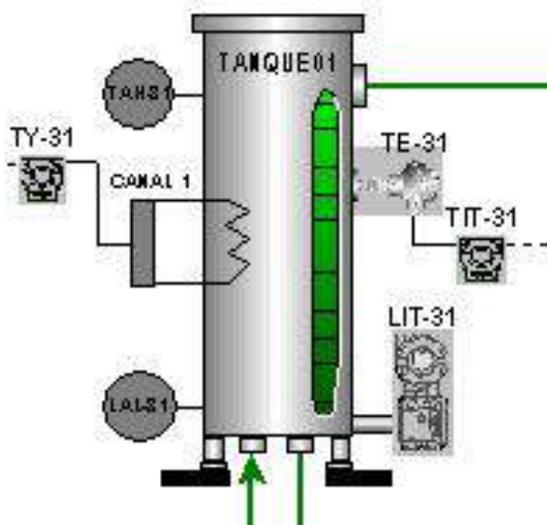
3 - Determinar:

a) Range do instrumento: \_\_\_\_\_ mmH<sub>2</sub>O

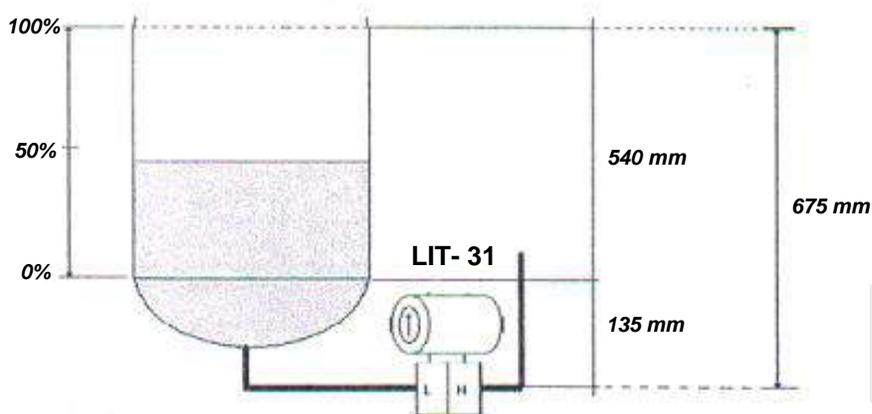
b) Saída do instrumento quando o  $\Delta P = 0$  mmH<sub>2</sub>O : \_\_\_\_\_ mA



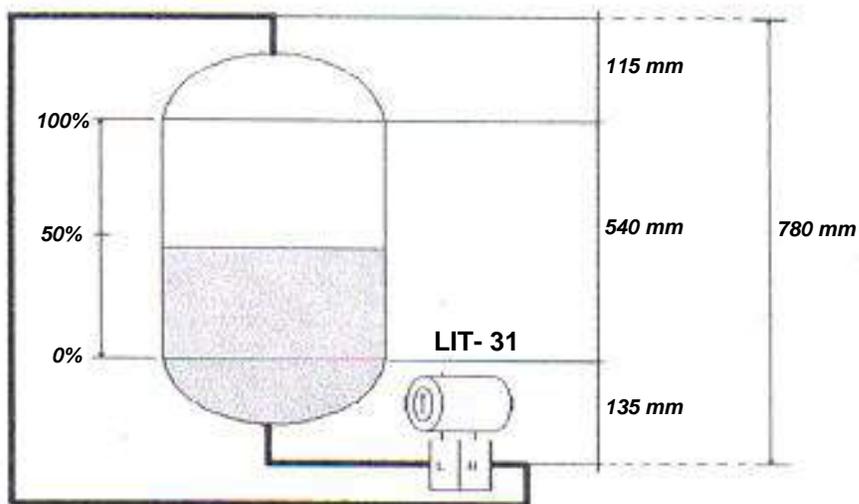
4 – Determinar os “Ranges Teóricos”(V<sub>I</sub> e V<sub>S</sub>) do Transmissor de Nível – LIT31 (Tanque 01) da Planta Didática - SMAR, em duas situações:



a) Tanque Aberto (Supressão de Zero);



b) Tanque Fechado (Elevação de Zero);



5 – Com a PD disponível, instalar a placa eletrônica (GLL 1000, modelo HART) no transmissor de nível (LIT31) e através dos configuradores HPC301 (Palm) ou Conf401, executar a “**Calibração com Referência**” no mesmo para os itens anteriores (4a e 4b). Comparar os valores do range encontrados com os “teóricos”.

## **CAPÍTULO 6: MEDIÇÃO DE VAZÃO**

### **1. CONCEITOS FÍSICOS BÁSICOS P/ MEDIÇÃO DE VAZÃO**

- 1.1 Calor Específico
- 1.2 Viscosidade
- 1.3 Número de Reynolds
- 1.4 Distribuição de Velocidade em um Duto (Regimes Laminar e Turbulento)

### **2. TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO**

#### **2.1 - MEDIDORES DE QUANTIDADE**

- 2.1.1 - Medidores de Quantidade por Pesagem
- 2.1.2 - Medidores de Quantidade Volumétrica

#### **2.2 - MEDIDORES VOLUMÉTRICOS**

##### **2.2.1 - Medição de vazão pôr pressão diferencial**

###### **A) Placa de Orifício**

- A1) Tipos de Orifícios
- A2) Tipos de Bordo
- A3) Tipos de tomada de impulso

###### **B) Orifício Integral**

###### **C) Tubo Venturi**

###### **D) Bocal**

###### **C) Tubo Pitot**

###### **D) Medidor Tipo Annubar**

###### **E) Malha para medição de vazão**

###### **F) Compensação da Pressão e Temperatura**

- F1) Exemplos de instalação

##### **2.2.2 - Medidores de Vazão por Pressão Diferencial Constante**

###### **A) Rotâmetros**

- A1) Princípio de Funcionamento
- A2) Condições de Equilíbrio
- A3) Tipos de Flutuadores
- A4) Material do flutuador
- A5) Instalação

### **3 – MEDIDORES DE VAZÃO EM CANAIS ABERTOS**

#### **3.1 - Vertedor**

#### **3.2 - Calha de Parshall**

### **4 - MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO**

#### **4.1 - Medidor Eletromagnético de Vazão**

- 4.1.1 - Aplicação
- 4.1.2 - Princípio de Funcionamento: Lei de Faraday
- 4.1.3 - Estrutura do Detetor
  - 4.1.3.1 - Revestimento
  - 4.1.3.2 - Eletrodo
  - 4.1.3.3 - Tubo detetor

4.1.3.4 - Influência da condutividade

4.1.3.5 - Instalação elétrica

4.1.3.5.1 - Alimentação das bobinas

4.1.3.5.2 - Formas de Excitação

4.1.3.5.3 - Aterramento

4.1.3.6- Escolha do diâmetro

#### **4.2 - Medidor Tipo Turbina**

4.2.1 - Influência da viscosidade

4.2.2 - Performance

#### **4.3 - Medidor Tipo Vórtex**

4.3.1 - Princípio de funcionamento

4.3.2 - Método de detecção dos vórtices

#### **4.4 - Medidores Ultra-sônicos**

4.4.1 - Medidores de efeito Doppler

4.4.2 - Medidores de tempo de trânsito

#### **4.5 - Medidor por Efeito Coriolis**

### **5. PARA UM BOM DIMENSIONAMENTO, PRECISAMOS SABER COM CERTEZA:**

### **6. EXERCÍCIOS**

## MEDIÇÃO DE VAZÃO

A medição de vazão inclui no seu sentido mais amplo, a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local na unidade de tempo; podem também ser incluídos os instrumentos que indicam a quantidade total movimentada, num intervalo de tempo.

$$\text{Vazão volumétrica: } Q_v = \frac{v}{t}$$

$$\text{Vazão mássica: } Q_m = \frac{m}{t}$$

A medição de vazão é aplicada onde se necessita conhecer a quantidade de produtos utilizados para dosagens, para fins contábeis (custódia) e para definir produção etc.

A quantidade total movimentada pode ser medida em unidades de volume (litros, mm<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>, galões, pés cúbicos) ou em unidades de massa (g, Kg, toneladas, libras). A vazão instantânea é dada por uma das unidades acima, dividida por uma unidade de tempo (litros/min, m<sup>3</sup>/hora, galões/min). No caso de gases e vapores, a vazão instantânea pode ser expressa, em Kg/h ou em m<sup>3</sup>/h. Quando se mede a vazão em unidades de volume, devem ser especificadas as "condições base" consideradas. Assim no caso de líquidos, é importante indicar que a vazão se considera "nas condições de operação", ou a 0 °C, 20 °C, ou a outra temperatura qualquer. Na medição de gases é comum indicar a vazão em Nm<sup>3</sup>/h (metros cúbicos normais por hora, ou seja, a temperatura de 0 °C e a pressão atmosférica) ou em SCFM (pés cúbicos standard por minuto - temperatura. 60 °F e 14,696 PSIA de pressão atmosférica). Vale dizer que:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$$

$$1 \text{ pé cúbico} = 0,0283168 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ galão (americano)} = 3,785 \text{ litros}$$

$$1 \text{ libra} = 0,4536 \text{ Kg}$$

## 1. CONCEITOS FÍSICOS BÁSICOS PARA MEDIÇÃO DE VAZÃO

### 1.1 Calor Específico

Define-se calor específico como o quociente da quantidade infinitesimal de calor fornecido a uma unidade de massa duma substância pela variação infinitesimal de temperatura resultante deste aquecimento.

Na prática, temos: *A quantidade de calor necessária para mudar a temperatura de 1 grama de uma substância em 1°C.*

### 1.2 Viscosidade

É definida como sendo a resistência ao escoamento de um fluido em um duto qualquer.

Esta resistência provocará uma perda de carga adicional que deverá ser considerada na medição de vazão.

### 1.3 Número de Reynolds

Número adimensional utilizado para determinar se o escoamento se processa em regime laminar ou turbulento. Sua determinação é importante como parâmetro modificador dos coeficientes de descarga.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Onde:

V - velocidade (m/s)

D - diâmetro do duto (m)

$\nu$  - viscosidade cinemática (m<sup>2</sup>/s)

**Observação:**

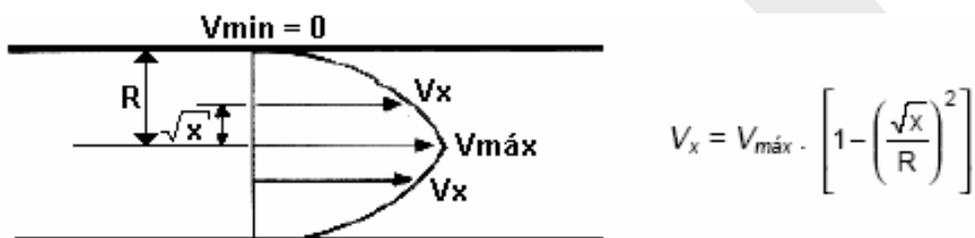
- Na prática, se  $Re > 2.320$ , o fluxo é turbulento, caso contrário é sempre laminar.
- Nas medições de vazão na indústria, o regime de escoamento é na maioria dos casos turbulento com  $Re > 5.000$ .

**1.4 Distribuição de Velocidade em um Duto**

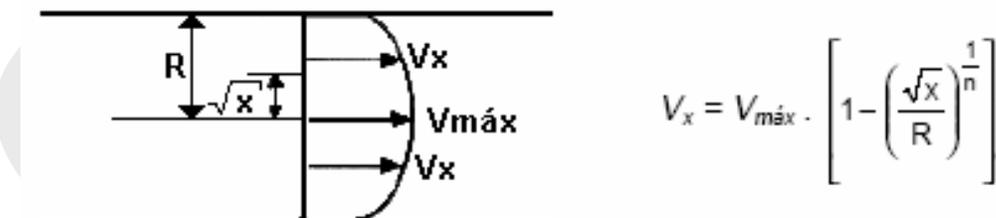
Em regime de escoamento no interior de um duto, a velocidade não será a mesma em todos os pontos. Será máxima no ponto central do duto e mínima na parede do duto.

**Regime Laminar:**

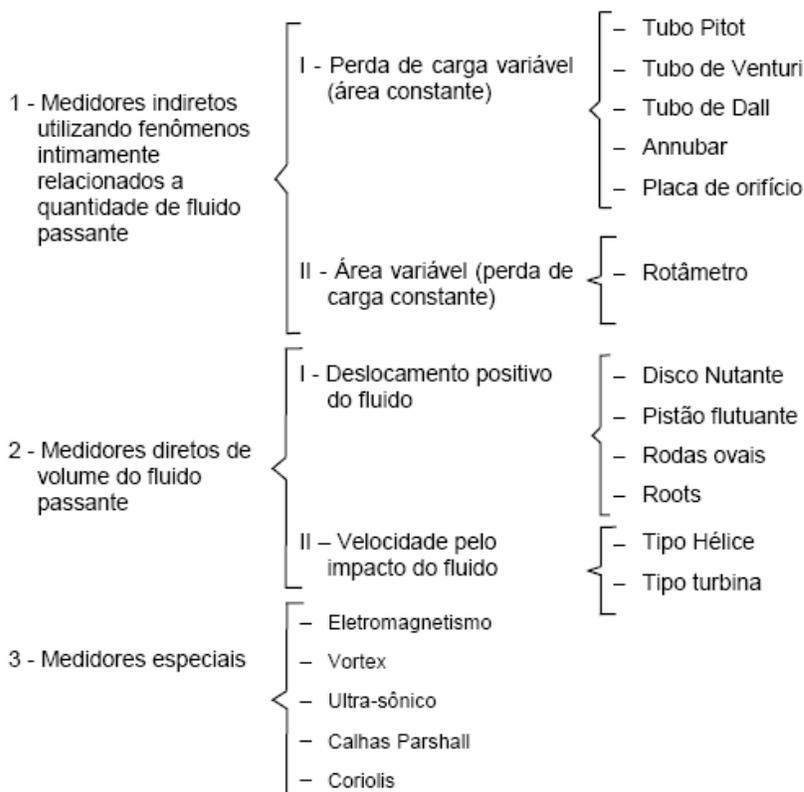
É caracterizado por um perfil de velocidade mais acentuado, onde as diferenças de velocidades são maiores.

**Regime Turbulento:**

É caracterizado por um perfil de velocidade mais uniforme que o perfil laminar. Suas diferenças de velocidade são menores.

**2. TIPOS DE MEDIDORES DE VAZÃO**

Existem três tipos de medidores de vazão, os medidores de quantidade, os medidores volumétricos e os medidores especiais. Ou também podemos dividir desta forma:



## 2.1 - MEDIDORES DE QUANTIDADE

São aqueles que, a qualquer instante permitem saber que quantidade de fluxo passou, mas não vazão do fluxo que está passando. Exemplo: bombas de gasolina, hidrômetros, balanças industriais, etc.

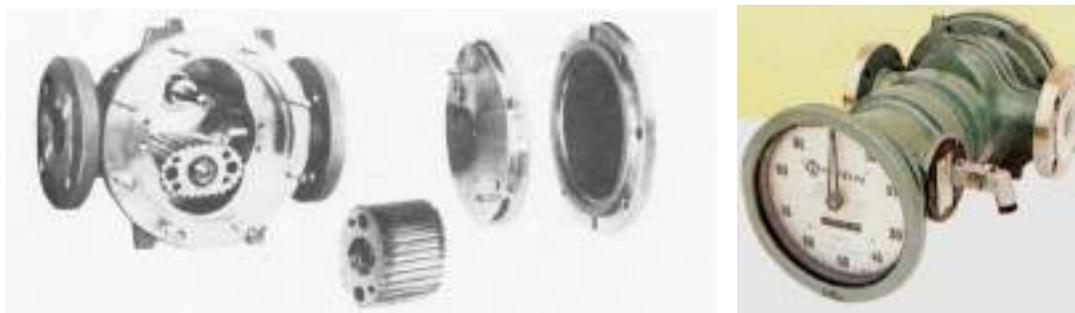
### 2.1.1 - Medidores de Quantidade por Pesagem

São utilizados para medição de sólidos, que são as balanças industriais.

### 2.1.2 - Medidores de Quantidade Volumétrica

São aqueles que o fluido, passando em quantidades sucessivas pelo mecanismo de medição faz com que o mesmo acione o mecanismo de indicação.

São estes medidores que são utilizados para serem os elementos primários das bombas de gasolina e dos hidrômetros. Exemplo: disco mutante, tipo pistão rotativo oscilante, tipo pistão alternativa, tipo pás, tipo engrenagem, etc.

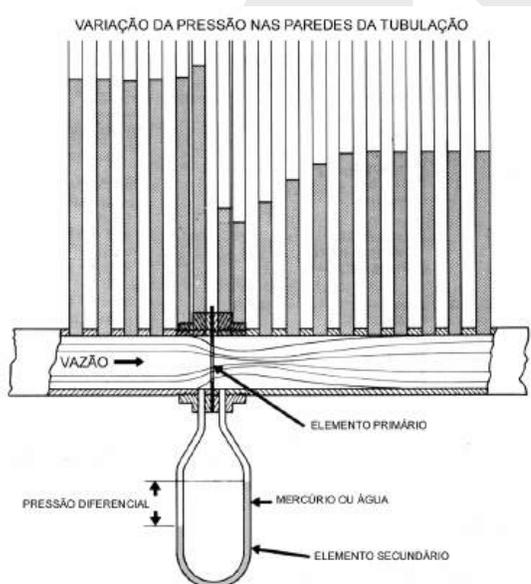


## 2.2 – MEDIDORES VOLUMÉTRICOS

São aqueles que exprimem a vazão por unidade de tempo.

### 2.2.1 - Medição de Vazão por Pressão Diferencial (Perda Carga Variável – Área constante)

A pressão diferencial é produzida por vários tipos de elementos primários colocados na tubulação de forma tal que o fluido passa através deles. A sua função é aumentar a velocidade do fluido diminuindo a área da seção em um pequeno comprimento para haver uma queda de pressão. A vazão pode então, ser medida a partir desta queda.



$$Q = K * \sqrt{\frac{P1}{Pp} * \frac{Tp}{T1}} * \sqrt{\Delta P}$$

Onde:

Q = vazão do fluido do local do estreitamento

K = constante

P1 = Pressão Medida

Pp = Pressão de Projeto

T1 = Temperatura medida

Tp = Temperatura de projeto

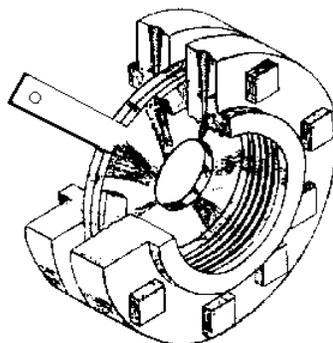
$\Delta P$  = perda de carga entre o fluxo, a montante e jusante do estreitamento.

Uma vantagem primordial dos medidores de vazão por  $\Delta P$ , é que os mesmos podem ser aplicados numa grande variedade de medições, envolvendo a maioria dos gases e líquidos, inclusive fluidos com sólidos em suspensão, bem como fluidos viscosos, em uma faixa de temperatura e pressão bastante ampla. Um inconveniente deste tipo de medidor é a perda de carga que o mesmo causa ao processo, sendo a placa de orifício, o dispositivo que provoca a maior perda de carga "irrecuperável" (de 40 a 80% do  $\Delta P$  gerado).

## A) Placa de Orifício

Dos muitos dispositivos inseridos numa tubulação para se criar uma pressão diferencial, o mais simples e mais comum empregado é o da placa de orifício.

Consiste em uma placa precisamente perfurada, a qual é instalada perpendicularmente ao eixo da tubulação.



É essencial que as bordas do orifício estejam sempre perfeitas, porque, se ficarem, imprecisas ou corroídas pelo fluido, a precisão da medição será comprometida. Costumeiramente são fabricadas com aço inox, monel, latão, etc., dependendo do fluido.

### VANTAGENS

Instalação fácil  
Econômica  
Construção simples  
Manutenção e troca simples

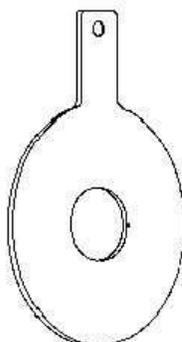
### DESVANTAGENS

Alta perda de carga  
Baixa Rangeabilidade

## A1) Tipos de Orifícios

### 1. Orifício Concêntrico

Este tipo de placa é utilizado para líquidos, gases e vapor que não contenham sólidos em suspensão.

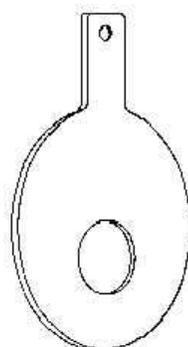


concêntrico



## 2. Orifício Excêntrico

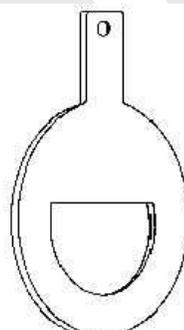
Utilizada quando tivermos fluido com sólidos em suspensão, os quais possam ser retidos e acumulados na base da placa, sendo o orifício posicionado na parte de baixo do tubo.



excêntrico

## 3. Orifício Segmental

Esta placa tem a abertura para passagem de fluido, disposta em forma de segmento de círculo. É destinada para uso em fluidos laminados e com alta porcentagem de sólidos em suspensão.

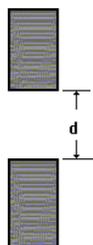


segmental

## A2) Tipos de Bordo

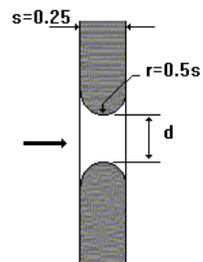
### 1. Bordo Quadrado (Aresta viva):

Usado em tubulações normalmente maiores que 6".



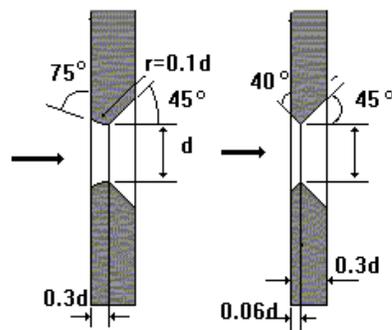
## 2. Bordo Arredondado (Quadrante edge ou quarto de círculo):

Usado em fluídos altamente viscosos.

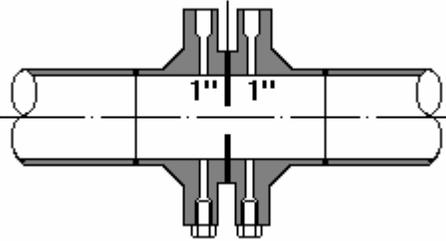
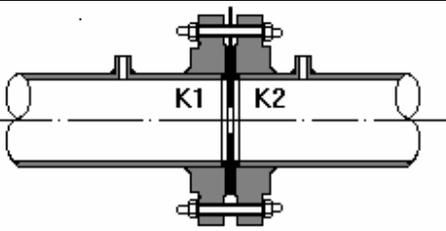
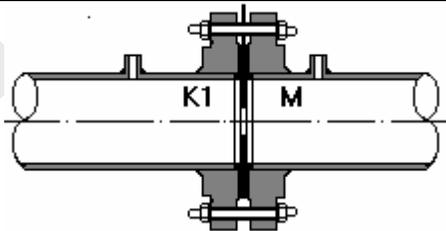
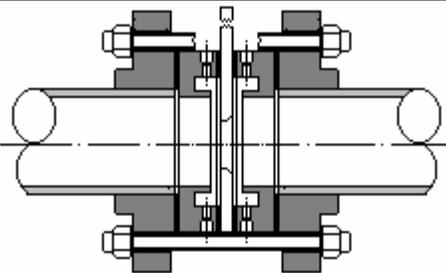
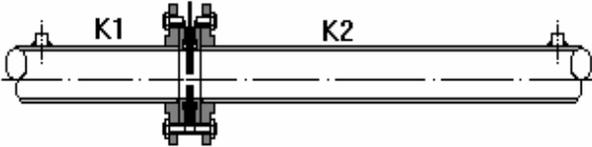


## 3. Bordo com entrada cônica:

Uso geral.



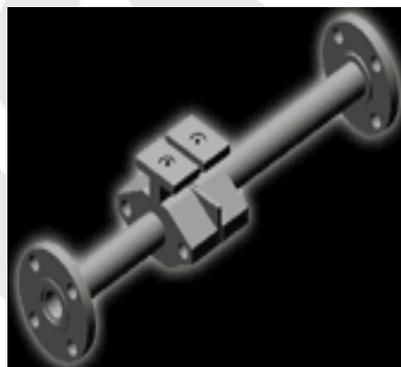
## A3) Tipos de Tomada de Impulso

Denominação na literatura inglesa	Denominação sugerida em português	Distância da tomada à face montante K1	Distância da tomada à face jusante K2	
Flange taps	Tomadas em flanges	1"	1"	
Radius taps	Tomadas à D e 1/2D	1D	1/2D	
Vena contracta taps	Tomadas de vena contracta	1/2 à 2D	Depende de $\beta$	
Corner taps	Tomadas de canto	Junto	Junto	
Pipe taps	Tomadas a 2 1/2 D e 8D	2 1/2 D	8D	

- A. Tomadas em flange:** São as mais populares, onde os furos das tomadas já são feitos no próprio flange.
- B. Tomadas na vena contracta:** Utiliza flanges comuns, sendo o centro da tomada de alta pressão entre  $1/2$  e  $2D$  (em geral  $1D$ ) e o centro da tomada de baixa estará no ponto de pressão mínima.
- C. Tomadas D e D/2:** Usada em tubulações de 2" a 30".
- D. Tomadas em canto:** São construídas no próprio flange e seu uso principal é em tubulações menores que 2", tendo como desvantagem a grande possibilidade de entupimento.
- E. Tomadas de tubulação:** Possui o menor diferencial de pressão entre todas tomadas e perdem muita precisão devido à rugosidade do tubo.

## B) Orifício Integral

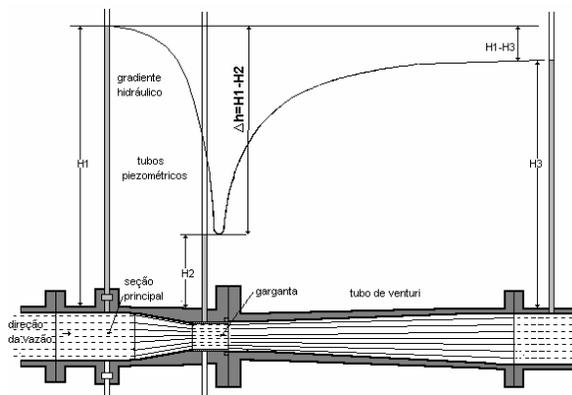
Quando a tubulação for de pequeno diâmetro, menor que 2", fica impossível de se utilizar placa de orifício, neste caso a saída é a utilização de orifício menores, chamado de orifício integral a figura abaixo mostra exemplo dos blocos de conexões dos orifícios integrais.



## C) Tubo Venturi

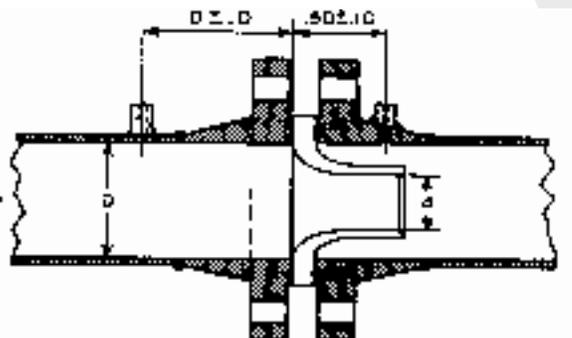
O tubo Venturi combina dentro de uma unidade simples, uma curta garganta estreitada entre duas seções cônicas e está usualmente instalado entre duas flanges, numa tubulação. Seu propósito é acelerar o fluido e temporariamente baixar sua pressão estática.

A recuperação de pressão em um tubo Venturi é bastante eficiente, como podemos ver na figura a seguir, sendo seu uso recomendado quando se deseja um maior restabelecimento de pressão e quando o fluido medido carrega sólidos em suspensão. O Venturi produz um diferencial menor que uma placa de orifício para uma mesma vazão e diâmetro igual à sua garganta.



### D) Bocal

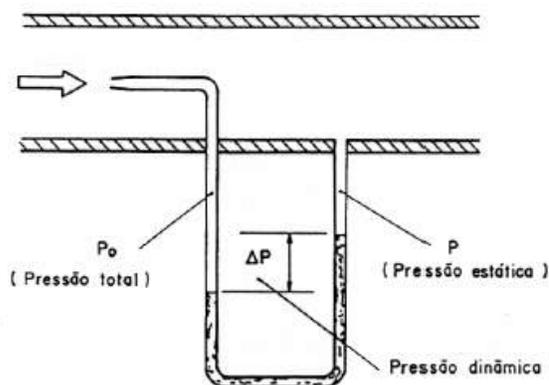
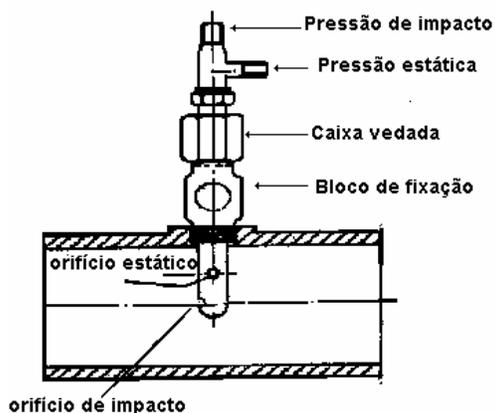
O Bocal de vazão (Flow nozzle) é, em muitos aspectos um meio termo entre a placa de orifício e o tubo Venturi. O perfil dos bocais de vazão permite sua aplicação em serviços onde o fluido é abrasivo e corrosivo.



### C) Tubo Pitot

É um dispositivo utilizado para medição de vazão através da velocidade detectada em um determinado ponto de tubulação.

O tubo de Pitot é um tubo com uma abertura em sua extremidade, sendo esta, colocada na direção da corrente fluida de um duto, mas em sentido contrário. A diferença entre a pressão total e a pressão estática da linha nos fornecerá a pressão dinâmica a qual é proporcional ao quadrado da velocidade.

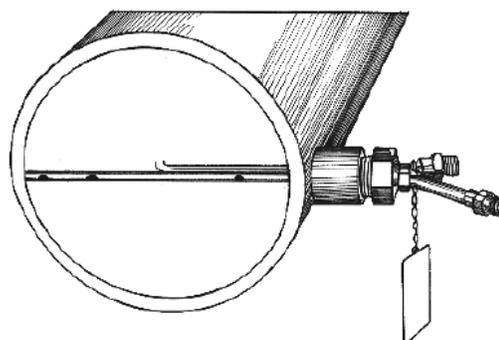


$$PD = \frac{\delta V^2}{2g} \text{ ou } V^2 = \frac{PD \times 2g}{\delta} \text{ para fluidos incompressíveis}$$

Onde:

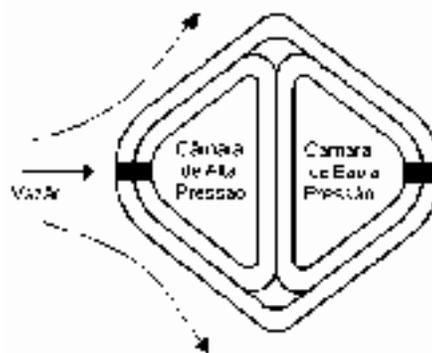
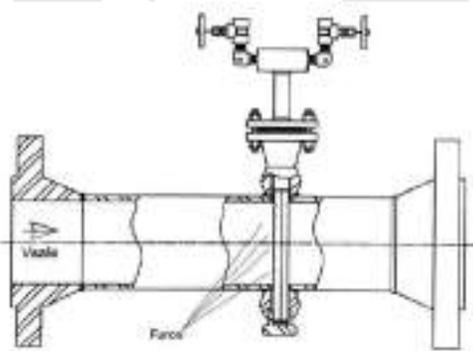
PD = pressão dinâmica em kgf/cm<sup>2</sup>  
 $\delta$  = peso específico do fluido em kgf/m<sup>3</sup>  
 V = velocidade do fluido em m/s  
 g = aceleração da gravidade m/s<sup>2</sup>

#### D) Medidor Tipo Sonda Múltipla (Annubar)



O Annubar é um dispositivo de produção de pressão diferencial que ocupa todo o diâmetro do tubo. O Annubar é projetado para medir a vazão total, de forma diferente dos dispositivos tradicionais de pressão diferencial.

A parte de alta pressão do sinal de  $\Delta P$  é produzido pelo impacto do fluido nos furos do sensor, sendo então separado e fluindo em volta do Annubar. Precisamente localizados, os furos sensores na parte frontal sentem a pressão de impacto causada pelo fluido.

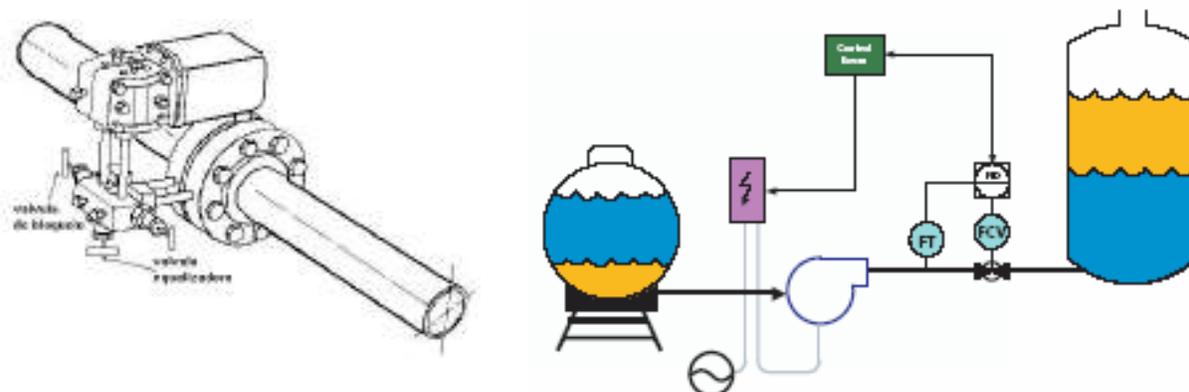


Após o fluido separar-se em torno do sensor Annubar, uma zona de baixa pressão (abaixo da pressão estática no tubo) é criada devido ao formato do sensor. O lado de baixa pressão do sinal de  $\Delta P$  é sentido pelos furos na jusante do Annubar e é medida na câmara da jusante.

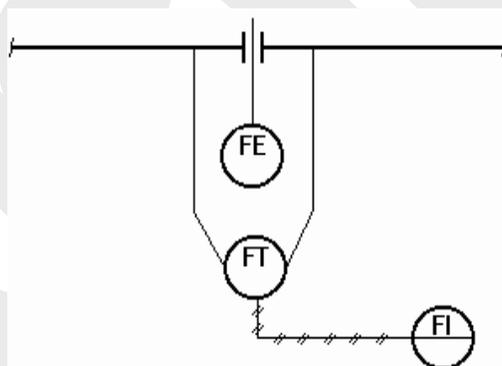
A diferença de pressão é proporcional à raiz quadrada da vazão assim como os medidores anteriores.

## E) Malha para Medição de Vazão

Na indústria, o método mais utilizado para medir vazão pelo princípio da pressão diferencial variável é através da placa de orifício.



Podemos representar esquematicamente esta malha de medição, através do fluxograma mostrado a seguir:



De maneira mais prática podemos concluir que a vazão irá variar em função de  $\sqrt{\Delta P}$ . Portanto podemos simplificar a expressão, assim:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P}$$

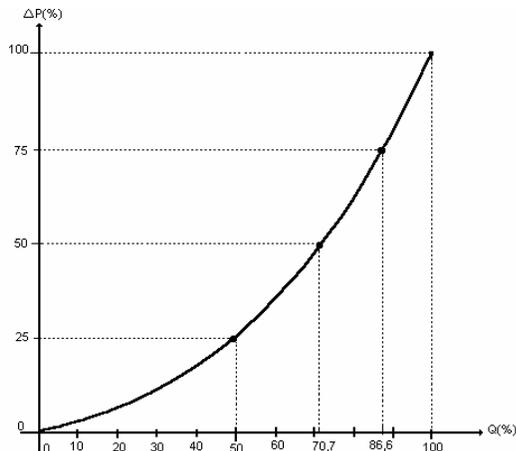
onde

Q = Vazão

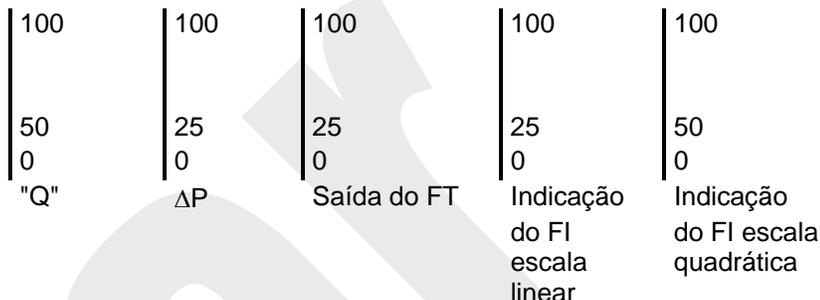
K = Constante que depende de fatores como: relação entre orifício e tubulação e características do fluido

$\Delta P$  = Pressão diferencial

É importante observar, que a vazão Q varia quadraticamente em função do  $\Delta P$ .

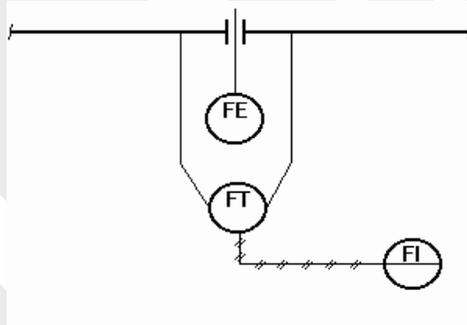


Vazão	ΔP
0,0	0,0
50,0	25,0
70,7	50,00
86,6	75,00
100,00	100,00



Analisando o fluxograma anterior teremos:

Supondo o fluxograma abaixo, sabe-se que esta malha possui como características: Vazão máxima de 10 m<sup>3</sup>/H e o ΔP produzido com esta vazão é de 2.500 mmH<sub>2</sub>O. Como saber a pressão de saída do transmissor (FT), quando a vazão for 8 m<sup>3</sup>/H ?



Determinação do K:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P} \implies K = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$$

Para vazão máxima:

$$K = \frac{10}{\sqrt{2500}} = \frac{10}{50} \implies K = 0,200 \text{ (m}^3\text{/H , mmH}_2\text{O)}$$

Portanto:

$$\Delta P = (Q/K)^2 = (8/0,2)^2 = 1600 \implies \Delta P = 1600 \text{ mmH}_2\text{O}$$

Outro método de trabalho baseia-se no cálculo em porcentagem adotando-se K = 10.

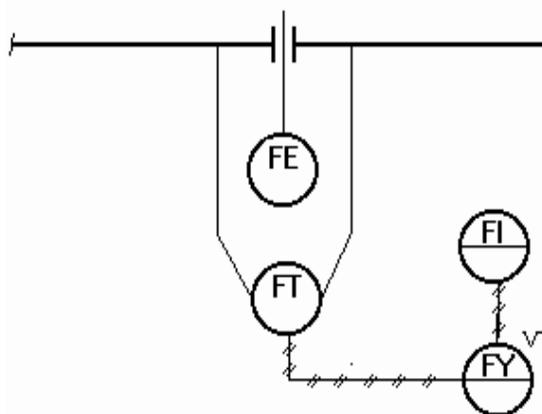
Então: 8 m<sup>3</sup>/H equivale a 80% da vazão,

Portanto:

$$Q = K \times \sqrt{\Delta P} \implies \Delta P = (Q/K)^2 = (80/10)^2 = 64$$

$$\Delta P = 64 \%$$

O sinal de saída de um transmissor de vazão por pressão diferencial variável, varia linearmente em função do  $\Delta P$  é quadraticamente em função da vazão, portanto quando é acoplado um indicador para fazer a leitura de vazão vinda do transmissor, sua escala deve ser quadrática para termos leitura direta. Para linearizar o sinal de saída do transmissor em função de vazão, faz-se necessário o uso de um EXTRATOR DE RAIZ QUADRADA, conforme mostrado no fluxograma a seguir .



A pressão de entrada no extrator ( $E_{FY}$ ), é linearmente proporcional ao  $\Delta P$  e a pressão de saída do extrator ( $S_{FY}$ ), é linearmente proporcional à vazão  $Q$ , então:

100-----	15-----	15-----	100
50-----	9-----	6-----	25
0-----	3-----	3-----	0
"Q"	"S <sub>FY</sub> "	"E <sub>FY</sub> "	$\Delta p$

Portanto :

$$S_{FY} = \sqrt{\frac{E_{FY} - 3}{12}} \cdot 12 + 3 \text{ (PSI)}$$

$$E_{FY} = \left[ \frac{(S_{FY} - 3)}{12} \right]^2 \cdot 12 + 3 \text{ (PSI)}$$

Supondo que na entrada do extrator a pressão seja 10,68 PSI , qual a pressão em sua saída?

$$E_{FY} = 10,68 \text{ PSI}$$

$$S_{FY} = \sqrt{\frac{10,68 - 3}{12}} \cdot 12 + 3 = 0,8 \cdot 12 + 3 = 12,6$$

$$S_{FY} = 12,6 \text{ PSI}$$

## F) Compensação da Pressão e Temperatura

Quando se medem gases e vapores a densidade do fluido variará dependendo da pressão e da temperatura. Por isso, é preciso efetuar a correção com compensação para essa variação. A equação para efetuar a correção se escreve na seguinte forma:

$$Q = K \cdot \sqrt{\frac{P_A \cdot \Delta P}{T_A}} \longrightarrow Q = \text{Nm}^3/\text{h}$$

Onde:

Q = vazão

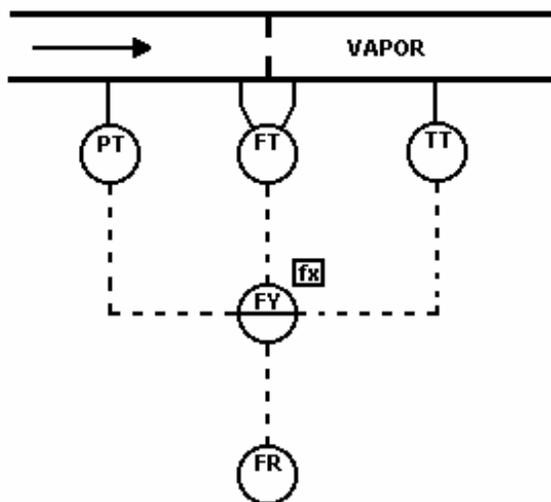
K = constante

$P_A$  = pressão absoluta, bar

$T_A$  = temperatura absoluta, Kelvin

$\Delta P$  = pressão diferencial, bar

A figura abaixo mostra um exemplo de malha de controle para este tipo de aplicação.



## F1) Exemplos de instalação



## 2.2.2 - Medidores de Vazão por Pressão Diferencial Constante (Área Variável)

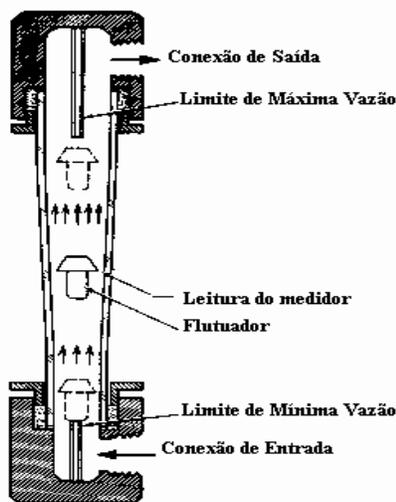
Os dispositivos de pressão diferencial até agora considerados têm por base restrições de dimensão fixa, e a pressão diferencial criada através deles modifica-se com a vazão. Existem, contudo, dispositivos nos quais a área da restrição pode ser modificada para manter constante o diferencial de pressão enquanto muda a vazão; como por exemplo, deste princípio utilizaremos o rotâmetro.

### A) Rotâmetros

Rotâmetros são medidores de vazão por área variável, nos quais um flutuador varia sua posição dentro de um tubo cônico, proporcionalmente à vazão do fluido.

Basicamente, um rotâmetro consiste de duas partes:

- 1) Um tubo de vidro de formato cônico, o qual é colocado verticalmente na tubulação em que passará o fluido que queremos medir. A extremidade maior do tubo cônico ficará voltada para cima.
- 2) No interior do tubo cônico teremos um flutuador que se moverá verticalmente, em função da vazão medida.



#### A1) Princípio de Funcionamento

O fluido passa através do tubo da base para o topo. Quando não há vazão, o flutuador permanece na base do tubo e seu diâmetro maior é usualmente selecionado de tal maneira que bloqueie a pequena extremidade do tubo, quase que completamente. Quando a vazão começa e o fluido atinge o flutuador, o empuxo torna o flutuador mais leve; porém, como o flutuador tem uma densidade maior que a do fluido, o empuxo não é suficiente para levantar o flutuador.

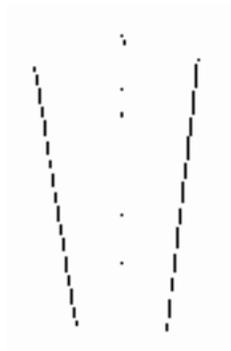
A área de passagem oferece resistência à vazão e a queda de pressão do fluido começa a aumentar. Quando a pressão diferencial, somada ao efeito de empuxo do líquido, excede a pressão devido ao peso do flutuador, então o flutuador sobe e flutua na corrente fluida.

Com o movimento ascendente do flutuador em direção à parte mais larga do tubo, a área anular, entre a parede do tubo de vidro e a periferia do flutuador, aumenta. Como a área aumente, o diferencial de pressão devido ao flutuador decresce. O flutuador ficará em equilíbrio dinâmico quando a pressão diferencial através do flutuador somada ao efeito do empuxo contrabalançar o peso do flutuador.

Qualquer aumento na vazão movimentará o flutuador para a parte superior do tubo de vidro e a diminuição causa uma queda a um nível mais baixo. Cada posição do flutuador corresponde a um valor determinado de vazão e somente um. É somente necessário colocar uma escala calibrada na parte externa do tubo e a vazão poderá ser determinada pela observação direta da posição do flutuador.

## A2) – Condições de Equilíbrio

As forças que atuam no flutuador estão representadas na figura a seguir.



**W** = peso do flutuador

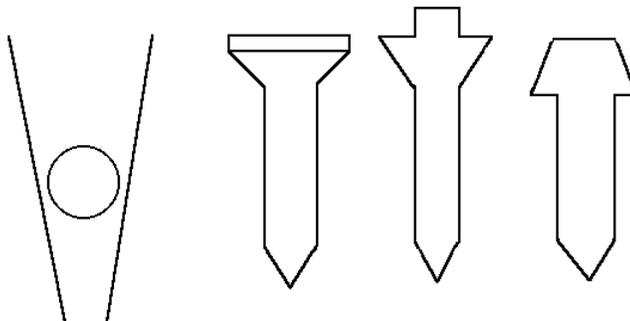
**F** = força de arraste do fluido sobre o flutuador

**E** = força de empuxo do fluido sobre o flutuador

## A3) Tipos de Flutuadores

Os Flutuadores podem ter vários perfis de construção. Na figura a seguir, podemos ver os tipos mais utilizados:

- 1- **Esférico** - Para baixas vazões e pouca precisão; sofre uma influência considerável da viscosidade do fluido.
- 2- **Cilindro com Bordo Plano** - Para vazões médias e elevadas, sofre uma influência média da viscosidade do fluido.
- 3- **Cilindro com Bordo Saliente de Face Inclinada para o Fluxo** - Sofre menor influência da viscosidade do fluido.
- 4- **Cilindro com Bordo Saliente contra o Fluxo** - Sofre a mínima influência da viscosidade do fluido.



## A4) Material do flutuador

O material mais empregado nos flutuadores é o aço inox 316, no entanto, na indústria, para satisfazer outras exigências tais como resistência à corrosão, abrasão e outras se utilizam outros tipos de materiais.

## A5) Instalação

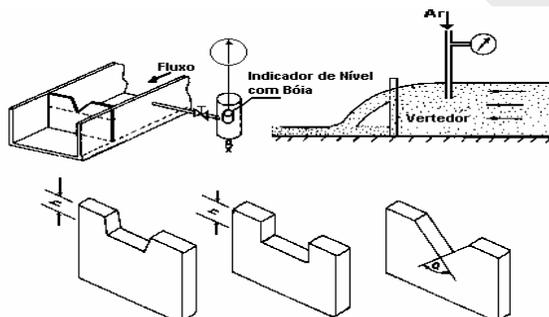
Os rotâmetros são montados verticalmente na tubulação do fluido, cuja vazão se quer medir, de maneira que o fluido seja dirigido de baixo para cima.

## 3 – MEDIDORES DE VAZÃO EM CANAIS ABERTOS

Os dois principais tipos são: o Vertedor e a Calha Parshall.

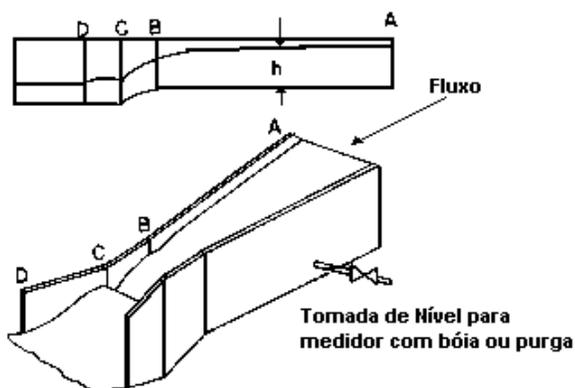
### 3.1 - Vertedor

O Vertedor mede a altura estática do fluxo em reservatório que verte o fluido de uma abertura de forma variável.



### 3.2 - Calha Parshall

O medidor tipo calha Parshall é um tipo de Venturi aberto que mede a altura estática do fluxo. É um medidor mais vantajoso que o Vertedor, porque apresenta menor perda de carga e serve para medirem fluidos com sólidos em suspensão.



## 4 – MEDIDORES ESPECIAIS DE VAZÃO

Os principais medidores especiais de vazão são: Medidores Magnéticos de Vazão com Eletrodos, tipo Turbina, tipo Coriolis, Vórtex, Mássico e Ultra-sônico.

### 4.1 - Medidor Eletromagnético de Vazão

O medidor magnético de vazão é seguramente um dos medidores mais flexíveis e universais dentre os métodos de medição de vazão. Sua perda de carga é equivalente a de um trecho reto de tubulação, já que não possui qualquer obstrução. É virtualmente insensível à densidade e à viscosidade do fluido de medição. Medidores magnéticos são, portanto ideais para medição de produtos químicos altamente corrosivos, fluidos com sólidos em suspensão, lama, água, polpa de papel. Sua aplicação estende-se desde saneamento até indústrias químicas, papel e celulose, mineração e indústrias alimentícias. A única restrição, em princípio é que o fluido tem que ser eletricamente condutivo. Tem ainda como limitação o fato de fluidos com propriedades magnéticas adicionarem um certo erro de medição.

#### 4.1.1 - Aplicação

O medidor eletromagnético é um elemento primário de vazão volumétrica, independente da densidade e das propriedades do fluido. Este medidor não possui obstrução e, portanto apresenta uma perda de carga equivalente a um trecho reto de tubulação. Para medição de líquidos limpos com baixa viscosidade o medidor eletromagnético é uma opção. Se o líquido de medição tiver partículas sólidas e abrasivas, como polpa de mineração ou papel, ele é praticamente a única alternativa.

Como o mesmo possui como partes úmidas apenas os eletrodos e o revestimento, é possível através de uma seleção cuidadosa destes elementos, medir fluidos altamente corrosivos como ácidos e bases. É possível, por exemplo, a medição de ácido fluorídrico, selecionando-se eletrodos de platina e revestimento de teflon. Outro fluido, particularmente adequado para medição por essa técnica é o da indústria alimentícia. Como o sistema de vedação dos eletrodos não possui reentrâncias, as aprovações para uso sanitário são facilmente obtidas.

#### 4.1.2 - Princípio de Funcionamento: Lei de Faraday

O medidor eletromagnético de vazão é baseado na Lei de Faraday. Esta lei foi descoberta por um cientista inglês chamado FARADAY em 1831, cerca de 172 anos atrás. Segundo esta lei, quando um objeto condutor se move em um campo magnético, uma força eletromotriz é gerada.



A relação entre a direção do campo magnético, movimento do fluido e FEM induzida, pode facilmente ser determinada pela regra da mão direita de FLEMING. No caso do medidor eletromagnético o corpo

móvel é o fluido que flui através do tubo detetor. Desta forma, a direção do campo magnético, a vazão, e a FEM estão posicionadas uma em relação à outra de um ângulo de 90 graus.

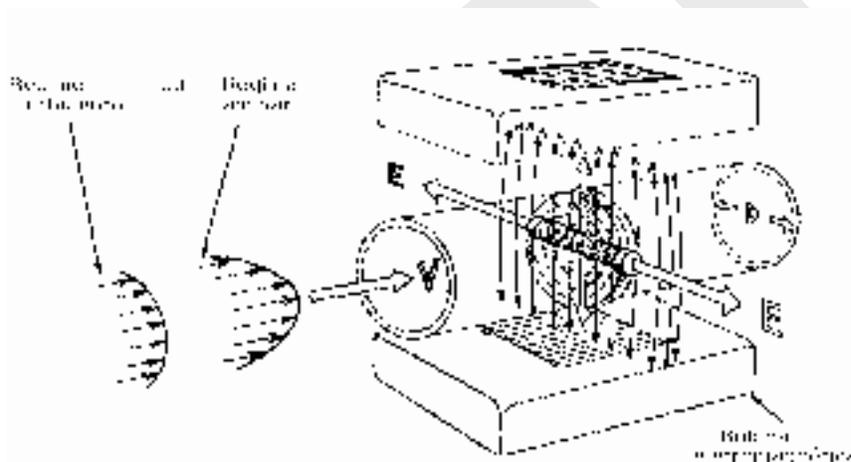
Relação entre a vazão e a FEM de acordo com a Lei de FARADAY, a FEM induzida no medidor eletromagnético é expressa pela seguinte equação:

$$E = B.d.V \quad (1)$$

onde

- E: FEM induzida (V)
- B: densidade do fluxo magnético (T)
- d: diâmetro interno do detetor (m)
- V: velocidade do fluido (m/s)

De acordo com a equação 1, levando-se em consideração que a densidade de fluxo magnético B é constante, temos que a FEM é proporcional à velocidade.



### 4.1.3 - Estrutura do Detetor

#### 4.1.3.1 - Revestimento

Para se conseguir retirar um sinal elétrico proporcional à vazão, é necessário que o interior do tubo seja isolado eletricamente. Se isto não for feito a FEM será curto-circuitada e dessa forma, não estará presente nos eletrodos. Se o tubo fosse de material isolante não haveria problema, mas, geralmente o tubo é feito de material condutor. Para evitar que a FEM seja curto-circuitada pela parede condutiva do tubo, um isolante tal como teflon, borracha de poliuretano ou cerâmica. A escolha do material isolante é feita em função do tipo de fluido.

#### 4.1.3.2 - Eletrodo

Eletrodos são dois condutores instalados na parede do tubo, para receber a tensão induzida no fluido. Existem vários materiais de fabricação tais como: aço inox, monel, hastelloy, platina e outros que dependem do tipo de fluido a ser medido.

#### 4.1.3.3 - Tubo detetor

O material de fabricação do tubo do medidor não pode ser de substâncias ferromagnéticas, tais como aço ou níquel, pois as mesmas causam distúrbios no campo eletromagnético, desta forma é geralmente usado para fabricação do detetor. Na prática o aço inox é o mais usado.

#### 4.1.3.4 - Influência da Condutividade

A influência da condutividade nos medidores de vazão deve ser entendida como se específica a seguir. Considera-se o elemento primário como um gerador simples desenvolvendo uma FEM  $e$ , e conectado em série com a resistência interna do fluido  $R_f$ . A FEM deste gerador é recebida pelo elemento secundário, que tem uma resistência  $R_s$ . A resistência  $R_f$  do fluido entre os eletrodos é dada aproximadamente pela seguinte fórmula:

$$R_f = \frac{1}{E \cdot d \cdot e}$$

Onde:

$E$  é a condutividade do fluido em Siemens / metro (S/m) (= mho / m) e  $d$  é o diâmetro dos eletrodos. Desta forma, a relação da tensão de saída à tensão gerada é:

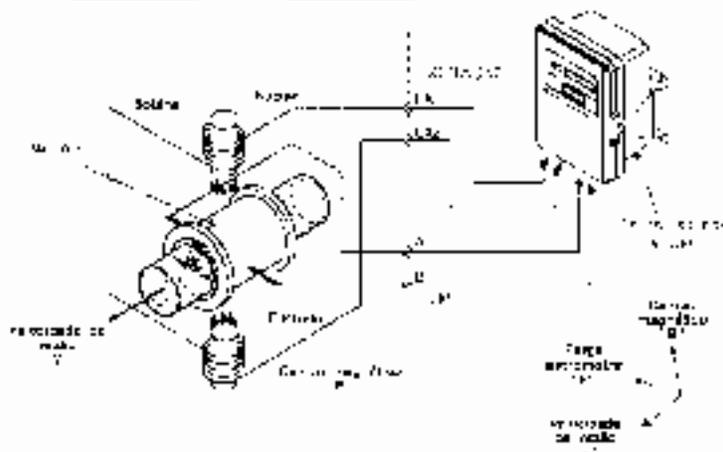
$$\frac{e_s}{e} = 1 - \frac{1}{(1 + R_s \cdot E \cdot d \cdot e)}$$

Exemplificando: Se a impedância  $R_s$ , é de  $1 \text{ M}\Omega$  o fluido água com condutividade de  $0,01 \text{ S/m}$  e o diâmetro de eletrodo de  $0,01 \text{ m}$ , temos:

$$\frac{e_s}{e} = 1 - \frac{1}{(1 + 10^6 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-2})} = 1 - \frac{1}{1+100} = 0,99$$

ou seja, 99%. Se a condutividade do fluido fosse aumentada de um fator 10, a relação acima passaria a 99,9%, ou seja: um aumento de 100% na condutividade só provocaria uma mudança inferior a 1% na relação. Todavia, se a condutividade tivesse diminuído 10 vezes, a relação este teria passado a 90% ou seja, 10% de variação.

Observamos, então, que, a partir de um certo **limite de condutividade**, que depende de determinadas combinações entre o elemento primário e o secundário, não há problema de influência de condutividade do fluido sobre a precisão da medição, **desde que seja superior aos limites recomendados**.



#### 4.1.3.5 - Instalação Elétrica

##### 4.1.3.5.1 - Alimentação das Bobinas

A grande transformação sofrida pelos medidores eletromagnéticos de vazão, nos últimos anos, foi com relação à forma de excitação das bobinas.

Os quatro tipos principais de excitação são: corrente contínua, corrente alternada, corrente pulsante e frequência dupla simultânea.

Vamos fazer uma comparação técnica entre os quatro tipos citados, ressaltando suas vantagens e desvantagens.

#### **4.1.3.5.2 - Formas de Excitação**

##### **Excitação em corrente contínua**

A excitação em corrente contínua tem a vantagem de permitir uma rápida detecção da variação de velocidade do fluido, e só é aplicada para casos muito especiais, como por exemplo, metais líquido. Entre as desvantagens deste método, citamos: dificuldade de amplificação do sinal obtido, influência do potencial eletroquímico, fenômeno de eletrólise entre os eletrodos e outros ruídos.

##### **Excitação em corrente alternada**

A excitação CA tem as vantagens de não ser afetada pelo potencial eletroquímico, ser imune à eletrólise, ainda é de fácil amplificação. Por outro lado, temos as desvantagens de vários ruídos surgirem em função da corrente alternada, que são provocados pela indução eletromagnética, chamado de ruído de quadratura, pela corrente de Foucault que provoca o desvio de zero e pelos ruídos de rede que se somam ao sinal de vazão, e muitas vezes são difíceis de serem eliminados.

##### **Excitação em corrente contínua pulsada**

A excitação em CC pulsada ou em onda quadrada, combina as vantagens dos métodos anteriores e não tem as desvantagens. Não é afetada pelo potencial eletroquímico, pois o campo magnético inverte o sentido periodicamente, mas como durante a medição o campo é constante, não teremos problemas com correntes de Foucault nem com indução eletromagnética que são fenômenos que ocorrem somente quando o campo magnético varia. O ruído da rede é eliminado sincronizando o sinal de amostragem com a frequência da rede e utilizando-se uma frequência que seja um sub-múltiplo par da frequência da rede, e finalmente a amplificação torna-se simples com amplificadores diferenciais.

##### **Excitação com frequência dupla simultânea**

A corrente de excitação de dupla frequência é aplicada ao tubo de medição, o qual gera um sinal de vazão com a mesma forma de onda. Se um sinal de vazão em degrau é aplicado ao tubo de medição, o sinal de vazão é amostrado e filtrado nos seus componentes de baixa e alta frequência. A seguir essas componentes são somadas reproduzindo o degrau aplicado.

Desse modo a componente de alta frequência responde principalmente às variações rápidas, enquanto que a componente de baixa frequência responde principalmente às variações lentas.

#### **4.1.3.5.3 - Aterramento**

Pôr razões de segurança do pessoal e para obter uma medição de vazão satisfatória, é muito importante atender todos os requerimentos dos fabricantes quanto ao aterramento. Uma interligação elétrica permanente entre o fluido, o medidor, a tubulação adjacente e um ponto de terra comum é especialmente importante quando a condutividade do líquido é baixa.

A forma de efetuar o aterramento depende do tipo de medidor (revestimento interno, etc.). Quando o medidor é instalado entre tubulações não metálicas ou revestidas internamente, é normal instalar anéis metálicos entre os flanges do medidor e a tubulação. Assim é obtido o contato elétrico com o fluido para posterior aterramento. Estes anéis devem ser de diâmetro interno igual ao medidor e de diâmetro externo menor que a circunferência de furos dos flanges do medidor

#### 4.1.3.6- Escolha do diâmetro

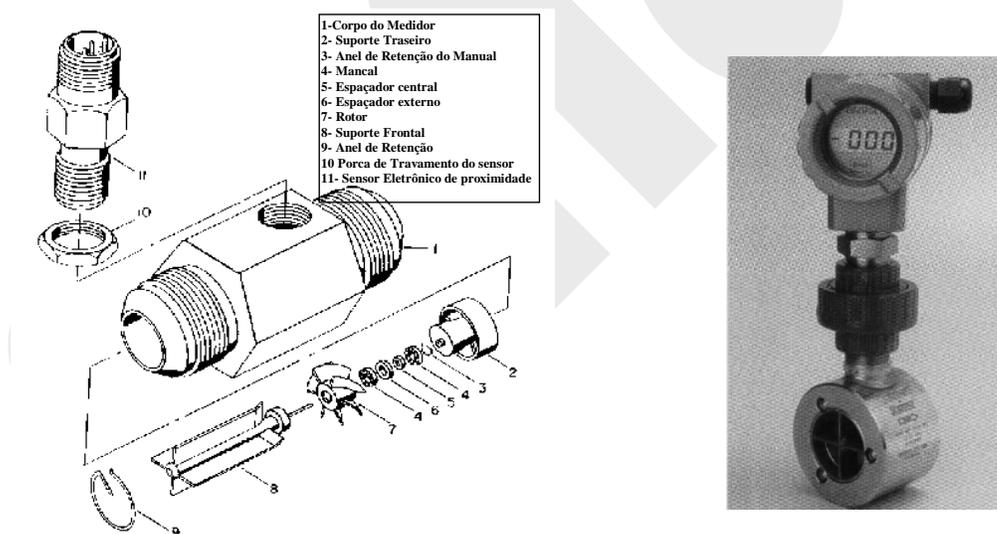
Os medidores magnéticos industriais apresentam um melhor desempenho relativo à precisão, quando a vazão medida corresponde a uma velocidade apreciável. Devem ser levadas em conta considerações relativas ao compromisso entre a decantação / incrustação e abrasão. Tipicamente, eles têm uma precisão de 1% da escala quando a velocidade que corresponde ao fim da escala de vazão, é superior a 1m/s e 2% quando compreendido entre 0,3 e 1m/s (os valores numéricos citados variam dependendo do fabricante). Os fabricantes apresentam ábacos de escolha para seus medidores onde, conhecendo a velocidade ou a vazão máxima a medir, pode ser determinado o diâmetro do medidor magnético para efetuar a medição.

#### 4.2 - Medidor Tipo Turbina

O medidor é constituído basicamente por um rotor montado axialmente na tubulação. O rotor é provido de aletas que o fazem girar quando passa um fluido na tubulação do processo. Uma bobina captadora com um ímã permanente é montada externamente fora da trajetória do fluido.

Quando este se movimenta através do tubo, o rotor gira a uma velocidade determinada pela velocidade do fluido e pelo ângulo das lâminas do rotor. À medida que cada lâmina passa diante da bobina e do ímã, ocorre uma variação da **relutância** do circuito magnético e no fluxo magnético total a que está submetida à bobina. Verifica-se então a indução de um ciclo de tensão alternada.

A frequência dos pulsos gerados desta maneira é proporcional à velocidade do fluido e a Vazão pode ser determinada pela medição / totalização de pulsos.



**OBS:** Relutância: é a dificuldade que um material magnético oferece as linhas magnéticas, o contrário é permeância.

#### 4.2.1 - Influência da Viscosidade

Como visto acima a frequência de saída do sensor é proporcional à vazão, de forma que é possível, para cada turbina, fazer o levantamento do coeficiente de vazão  $K$ , que é o parâmetro de calibração da turbina, expresso em ciclos(pulsos) por unidade de volume.



Numa turbina ideal este valor  $K$  seria uma constante independente da viscosidade do fluido medido. Observa-se, entretanto, que à medida que a viscosidade aumenta, o fator  $K$  deixa de ser uma constante e passa a ser uma função da viscosidade e da frequência de saída da turbina.

#### 4.2.2 - Performance

Cada turbina sofre uma calibração na fábrica, usando água como fluido. Os dados obtidos são documentados e fornecidos junto com a turbina. Usando estes dados obtêm-se o fator médio de calibração  $K$  relativo à faixa de vazão específica. O fator é representado pela seguinte expressão:

$$K = \frac{60 \cdot f}{Q}$$

### 4.3 - Medidor Tipo Vórtex

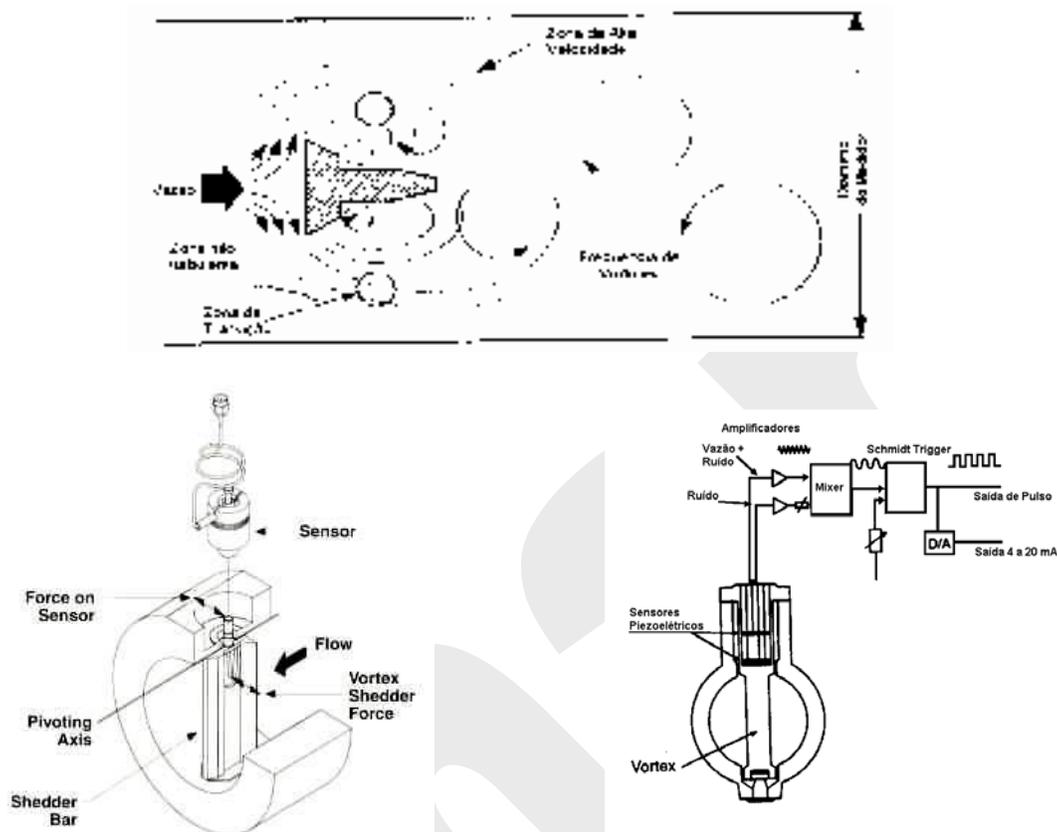
#### 4.3.1 - Princípio de funcionamento

Quando um anteparo de geometria definida é colocado de forma a obstruir parcialmente uma tubulação em que escoar um fluido, ocorre a formação de vórtices; que se desprendem alternadamente de cada lado do anteparo, como mostrado na figura abaixo. Este é um fenômeno muito conhecido e demonstrado em todos os livros de mecânica dos fluidos.

Os vórtices também podem ser observados em situações freqüentes do nosso dia a dia, como por exemplo:

- Movimento oscilatório das plantas aquáticas, em razão da correnteza;
- As bandeiras flutuando ao vento;
- As oscilações das copas das árvores ou dos fios elétricos quando expostas ao vento.





A frequência de geração de vórtices não é afetada por variações na viscosidade, densidade, temperatura ou pressão do fluido.

#### 4.3.2 - Método de detecção dos vórtices

As duas maiores questões referentes ao desenvolvimento prático de um medidor de vazão, baseado nos princípios anteriormente mencionados, são:

- A criação de um obstáculo gerador de vórtices (vortex shedder) que possa gerar vórtices regulares e de parâmetros totalmente estabilizados. Isto determinará a precisão do medidor.
- O projeto de um sensor e respectivo sistema eletrônico para detectar e medir a frequência dos vórtices. Isto determinará os limites para as condições de operação do medidor.
- Vortex shedder - Numerosos tipos de vortex shedder, com diferentes formas, foram sistematicamente testados e comparados em diversos fabricantes e centros de pesquisa. Um shedder com formato trapezoidal foi o que obteve um desempenho considerado ótimo.

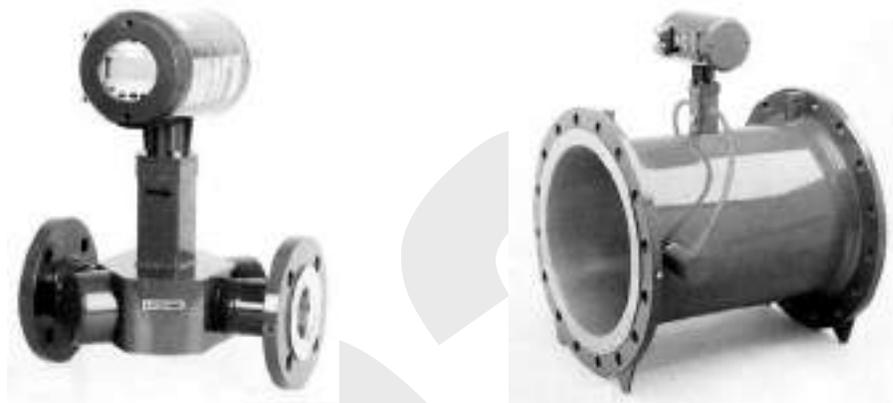
O corte trapezoidal proporciona excelente linearidade na frequência de geração dos vórtices, além de extrema estabilidade dos parâmetros envolvidos.

#### 4.4 - Medidores Ultra-sônicos

Os medidores de vazão que usam a velocidade do som como meio auxiliar de medição podem ser divididos em dois tipos principais:

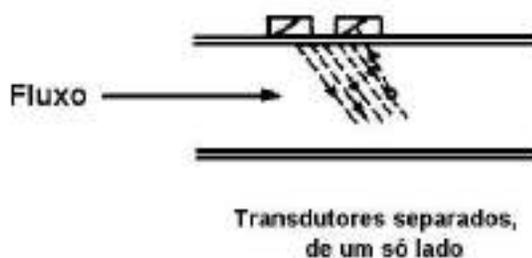
- Medidores a efeito doppler
- Medidores de tempo de trânsito.

Existem medidores ultra-sônicos nos quais os transdutores são presos à superfície externa da tubulação, e outros com os transdutores em contato direto com o fluido. Os transdutores - emissores de ultra-sons consistem em cristais piezoelétricos que são usados como fonte de ultra-som, para enviar sinais acústicos que passam no fluido, antes de atingirem os sensores correspondentes.



##### 4.4.1 - Medidores de efeito Doppler

O efeito Doppler é aparente variação de frequência produzida pelo movimento relativo de um emissor e de um receptor de frequência. No caso, esta variação de frequência ocorre quando as ondas são refletidas pelas partículas móveis do fluido. Nos medidores baseados neste princípio (ver figura a seguir), os transdutores - emissores projetam um feixe contínuo de ultra-som na faixa das centenas de kHz. Os ultra-sons refletidos por partículas veiculadas pelo fluido têm sua frequência alterada proporcionalmente ao componente da velocidade das partículas na direção do feixe. Estes instrumentos são conseqüentemente adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas capazes de refletir ondas acústicas.

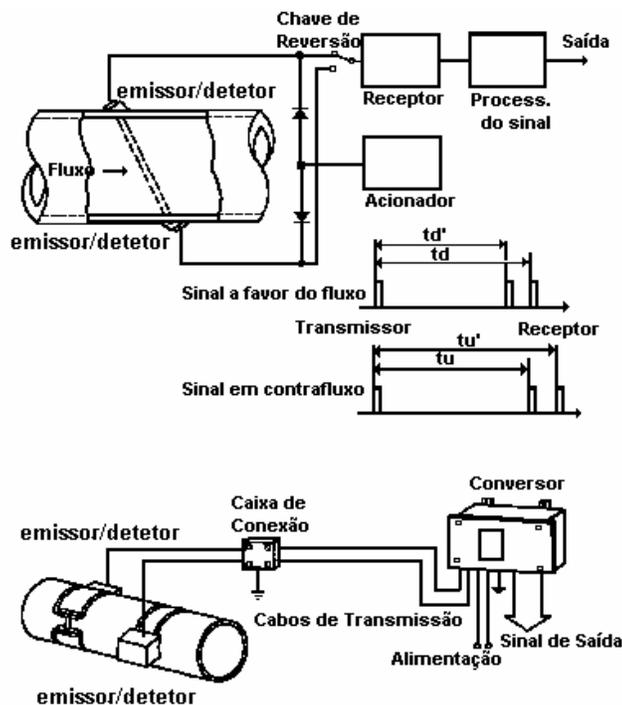


##### 4.4.2 - Medidores de tempo de trânsito

Ao contrário dos instrumentos anteriores, estes instrumentos não são adequados para medir vazão de fluidos que contêm partículas. Para que a medição seja possível, os medidores de tempo de trânsito devem medir vazão de fluidos relativamente limpos. Nestes medidores ( ver figura abaixo ), um transdutor – emissor - receptor de ultra-sons é fixado à parede externa do tubo, ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas. O eixo que reúne os emissores - receptores forma com o eixo da tubulação, um ângulo  $\alpha$ .

Os transdutores transmitem e recebem alternadamente um trem de ondas ultra-sônicas de duração pequena, ou seja, os pulsos saem de ambos os transdutores ao mesmo tempo, mas podem chegar com um tempo

diferente, caso haja vazão. O tempo de transmissão é levemente inferior ( $t_1$ ) orientada para a jusante, e levemente superior ( $t_2$ ) quando orientada para a montante. Sendo  $L$  a distância entre os sensores,  $V_1$  a velocidade média do fluido e  $V_2$  a velocidade do som no líquido considerado, temos:



$$1/t_1 = \frac{V_s - V_1 \cos \alpha}{L}$$

$$1/t_2 = \frac{V_s + V_1 \cos \alpha}{L}$$

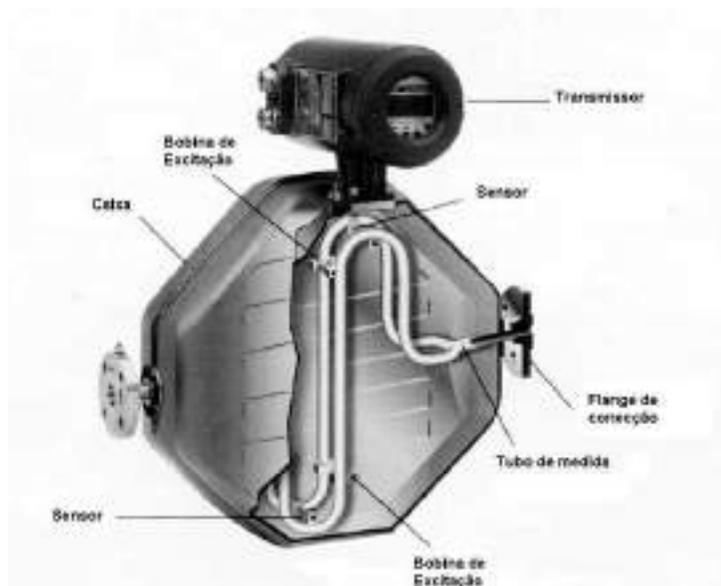
A diferença dos tempos de trânsito  $t_1$  e  $t_2$  serve como base de medição da velocidade  $V_1$ . Uma vez que a diferença de tempo é muito pequena (aproximadamente  $2 \cdot 10^{-9}$  seg.), o sistema eletrônico deve empregar circuitos digitais microprocessados de alta velocidade para poder discriminar com exatidão tais valores.

Os dois tipos de medidores são complementares, já que o primeiro opera com líquidos que contêm partículas sólidas ou gasosas e o segundo requer fluidos limpos. Em ambos os tipos de medidores, o perfil de velocidades da veia fluida deve ser compensado.

Nos medidores de efeito Doppler, e dependendo das realizações práticas, a influência da densidade de partículas reflexivas poderá introduzir erros suplementares. Quando a quantidade de partículas for muito grande, as partículas próximas dos sensores, que são as mais lentas, serão as que mais contribuem na reflexão das ondas, introduzindo um erro para menos. Nos medidores de tempo de trânsito, a configuração geométrica do percurso do feixe acústico é perfeitamente definida. Será, então, possível corrigir a leitura adequadamente, levando em consideração o perfil padrão em função do número de Reynolds do escoamento.

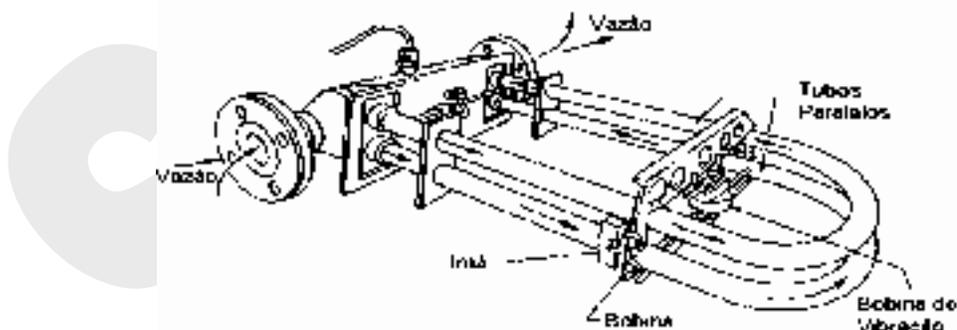
Os circuitos eletrônicos dos instrumentos são previstos para eliminar os efeitos das turbulências, efetuando continuamente a média das velocidades numa base de tempo relativamente longa. É desaconselhada a aplicação destes instrumentos a produtos que depositam na superfície interna do tubo, formando uma camada absorvente de energia acústica.

#### 4.5 - Medidor por Efeito Coriolis



É um instrumento de grande sucesso no momento, pois tem grande aplicabilidade desde indústria alimentícia, farmacêutica, química, papel, petróleo etc. e sua medição, independe das variáveis de processo - densidade, viscosidade, condutibilidade, pressão, temperatura, perfil do fluido.

Resumidamente, um medidor Coriolis possui dois componentes: tubos de sensores de medição e transmissor. Os tubos de medição são submetidos a uma oscilação e ficam vibrando na sua própria frequência natural à baixa amplitude, quase imperceptível a olho nu. Quando um fluido qualquer é introduzido no tubo em vibração, o efeito do Coriolis se manifesta causando uma deformação, isto é, uma torção, que é captada por meio de sensores magnéticos que geram uma tensão em formato de ondas senoidais.



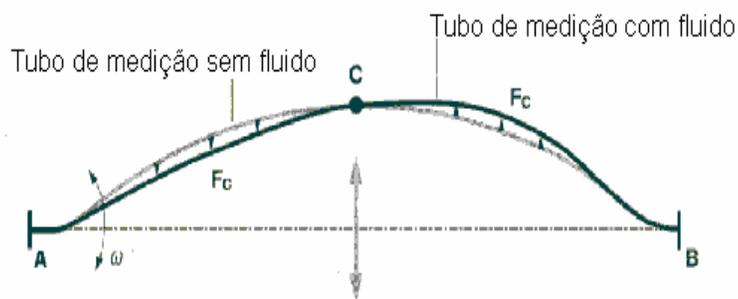
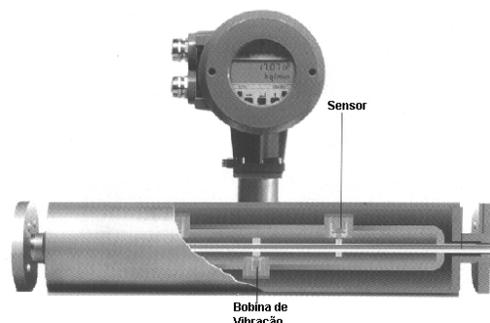
As forças geradas pelos tubos criam uma certa oposição à passagem do fluido na sua região de entrada (região da bobina1), e em oposição auxiliam o fluido na região de saída dos tubos.

O atraso entre os dois lados é diretamente proporcional à vazão mássica. Um RTD é montado no tubo, monitorando a temperatura deste, a fim de compensar as vibrações das deformações elásticas sofridas com a oscilação da temperatura.

O transmissor é composto de um circuito eletrônico que gera um sinal para os tubos de vazão, alimenta e recebe o sinal de medida, propiciando saídas analógicas 4 a 20 mA, de frequência (0 a 10 mil Hz) e até digital RS 232 e/ou RS 485. Estas saídas são enviadas para instrumentos receptores que controlam bateladas, indicam vazão instantânea e totalizada, ou para PLCs, SDCDs, etc.

Podemos encontrar o modelo com tubo reto, neste modelo, um tubo de medição oscila sobre o eixo neutro A-B sendo percorrido por um fluido com velocidade "v".

Entre os pontos A-C as partículas do fluido são aceleradas de uma baixa para uma alta velocidade rotacional. A massa destas partículas aceleradas gera as forças de Coriolis ( $F_c$ ) oposta à direção de rotação. Entre os pontos C-B as partículas do fluido são desaceleradas o que leva a força de Coriolis no mesmo sentido da rotação. A força de Coriolis ( $F_c$ ), a qual atua sobre as duas metades do tubo com direções opostas, é diretamente proporcional à vazão mássica. O método de detecção é o mesmo do sistema anterior.



## 5. PARA UM BOM DIMENSIONAMENTO, PRECISAMOS SABER COM CERTEZA:

- Diâmetro interno da tubulação (se é schedule, DIN, etc...)
- Vazões
  - Unidades
  - Se é normal ou processo para gases
- Pressões
  - Unidades
  - Se é absoluta ou manométrica.
- Temperatura
- Densidade
  - Caso a vazão seja mássica só precisamos da informação na temperatura de processo.
  - Caso a vazão seja volumétrica, precisamos também da densidade na temperatura base (0°C para gases e 15° para líquidos)
- Viscosidade
  - É importante saber a viscosidade na temperatura de processo.

**Observação 1 :** As propriedades de alguns fluidos temos em nosso banco de dados, para estes precisamos apenas do diâmetro, vazões, temperatura e pressão.

**Observação 2:** Quando a medida for de vapor saturado, precisamos saber se ele é saturado na temperatura ou na pressão.

**6 - EXERCÍCIOS:**

1 - Calcule o  $\Delta P$  no instante em que a vazão é igual a  $120 \text{ m}^3/\text{h}$ .

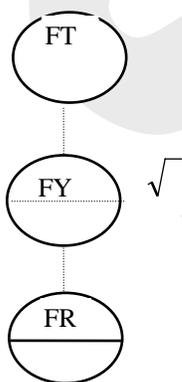
Dados:  $Q_{\text{max}} = 150 \text{ m}^3/\text{h}$   $\Delta P_{\text{max}} = 2.000 \text{ mmHg}$

2 - Calcule a vazão em  $\text{m}^3/\text{h}$  quando o  $\Delta P = 36\%$ .

Dados:  $Q_{\text{max}} = 500 \text{ l/h}$   $\Delta P_{\text{max}} = 2.360 \text{ mmCA}$

3 - Um FT indica 36% no seu indicador local. Qual é o diferencial de pressão aplicado em suas câmaras neste instante? Qual é a vazão, sabendo-se que a vazão máxima de linha é de  $5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ , com um diferencial máximo de pressão igual a  $81 \text{ mmH}_2\text{O}$ ?

4 - Um FT é instalado em uma linha de processo para medir vazão, o  $\Delta P$  máximo é de  $80'' \text{ H}_2\text{O}$ . Qual é a vazão quando o  $\Delta P$  for de  $30'' \text{ H}_2\text{O}$  e qual será a indicação na escala do FR em %. Dado:  $Q_{\text{máx.}} = 500 \text{ m}^3/\text{h}$ .



**CONVERSÃO DE UNIDADES:****UNIDADES DE VAZÃO VOLUMÉTRICA**

PARA OBTER O RESULTADO EXPRESSO EM	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /min	m <sup>3</sup> /s	GPM	BPH	BPD	pé <sup>3</sup> /h	pé <sup>3</sup> /min
MULTIPLICADOR POR								
O VALOR EXPRESSO EM								
m <sup>3</sup> /h	1	0,016667	0,00027778	4,40287	6,28982	150,956	35,314	0,588579
m <sup>3</sup> /min	60	1	0,016667	264.1721	377.3892	9057,34	2118,8802	35.3147
m <sup>3</sup> /s	3600	60	1	15.850.33	22.643.35	543.440,7	127 132,81	2118,884
Galão por minuto GPM	0,22712	0,0037854	63,09.10 <sup>-6</sup>	1	1.42857	34.2857	8,0208	0,13368
Barril por hora BPH	0,158987	0,0026497	44.161.10 <sup>-6</sup>	0,7	1	24	5.614583	0,0935763
Barril por dia BPD	0,0066245	0,00011041	1.8401.10 <sup>-6</sup>	0,029167	0,041667	1	0,23394	0,0038990
pé <sup>3</sup> /h CFH	0,0283168	0,00047195	7.8657.10 <sup>-6</sup>	0,124676	0,178108	4.2746	1	0,016667
pé <sup>3</sup> /min CFM	1,69901	0,028317	0,00047195	7,480519	10,686	256,476	60	1

**UNIDADES DE VAZÃO MÁSSICA**

PARA OBTER O RESULTADO EXPRESSO EM		t/dia	t/h	Kg/h	Kg/s	lb/h	lb/min	lb/s
MULTIPLICADOR POR								
O VALOR EXPRESSO EM								
tonelada/dia	t/dia	1	0,041667	41,667	0,011574	91,858	1.5310	0,025516
tonelada/hora	t/h	24	1	1000	0,27778	2204,6	36,7433	0,61239
kilograma / hora	kg/h	0,0240	0,001	1	0,000278	2,2046	0,03674	0,000612
kilograma/segundo	kg/s	86,400	3,6	3600	1	7936,6	132,276	2,2046
libra/hora	lb/h	0,01089	0,0004536	0,4536	0,000126	1	0,01667	0,000278
libra/minuto	lb/min	0,65317	0,02722	27,216	0,00756	60	1	0,01667
Libra/segundo	lb/s	39,1907	1,63295	1 632,95	0,45360	3600	60	1

## **CAPÍTULO 7: MEDIÇÃO DE TEMPERATURA**

### **1 – INTRODUÇÃO**

#### **1.1 - TEMPERATURA E CALOR**

- 1.1.1 - Condução
- 1.1.2 – Radiação
- 1.1.3 – Convecção

#### **1.2 - ESCALAS DE TEMPERATURA**

- 1.2.1 - Escalas
- 1.2.2 - Conversão de escalas
- 1.2.3 - Escala Internacional de Temperatura - ITS-90
- 1.2.4 – Normas

### **2 - MEDIDORES DE TEMPERATURA POR DILATAÇÃO/EXPANSÃO**

#### **2.1 - TERMÔMETRO A DILATAÇÃO DE LÍQUIDO**

- 2.1.1 - Características
- 2.1.2 - Termômetros de dilatação de líquido em recipiente de vidro
- 2.1.3 - Termômetro de dilatação de líquido em recipiente metálico.

#### **2.2 - TERMÔMETROS À PRESSÃO DE GÁS**

- 2.2.1 - Princípio de funcionamento
- 2.2.2 - Características

#### **2.3 - TERMÔMETRO À PRESSÃO DE VAPOR**

- 2.3.1 - Princípio de funcionamento

#### **2.4 - TERMÔMETROS À DILATAÇÃO DE SÓLIDOS (TERMÔMETROS BIMETÁLICOS)**

- 2.4.1 - Princípio de funcionamento
- 2.4.2 - Características de construção

### **3 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA COM TERMOPAR**

#### **3.1 - EFEITOS TERMOELÉTRICOS**

- 3.1.1 - Efeito termoelétrico de Seebeck
- 3.1.2 - Efeito termoelétrico de Peltier
- 3.1.3 - Efeito termoelétrico de Thomson
- 3.1.4 - Efeito termoelétrico de Volta

#### **3.2 - LEIS TERMOELÉTRICAS**

- 3.2.1 - Lei do circuito homogêneo
- 3.2.2 - Lei dos metais intermediários
- 3.2.3 - Lei das temperaturas intermediárias

#### **3.3 - CORRELAÇÃO DA F.E.M. EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA**

#### **3.4 - TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES**

- 3.4.1 - Termopares básicos
- 3.4.2 - Termopares nobres
- 3.4.3 - Termopares especiais

#### **3.5 - CORREÇÃO DA JUNTA DE REFERÊNCIA**

#### **3.6 - FIOS DE COMPENSAÇÃO E EXTENSÃO**

#### **3.7 - ERROS DE LIGAÇÃO**

- 3.7.1 - Usando fios de cobre
- 3.7.2 - Inversão simples
- 3.7.3 - Inversão dupla

#### **3.8 - TERMOPAR DE ISOLAÇÃO MINERAL**

- 3.8.1 - Vantagens dos termopares de isolamento mineral

### **3.9 - ASSOCIAÇÃO DE TERMOPARES**

3.9.1 - Associação série

3.9.2 - Associação série – oposta

3.9.3 - Associação em paralelo

## **4 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TERMORESISTÊNCIA (RTD)**

**4.1 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO**

**4.2 - CONSTRUÇÃO FÍSICA DO SENSOR**

**4.3 - CARACTERÍSTICAS DA TERMORESISTÊNCIA DE PLATINA**

**4.4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS**

**4.5 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO**

4.5.1 - Ligação à 2 fios

4.5.2 - Ligação à 3 fios

## **5 - MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO**

**5.1 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA**

5.1.1 - Hipóteses de Maxwell

5.1.2 - Ondas eletromagnéticas

5.1.3 - Espectro eletromagnético

**5.2 - TEORIA DA MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO**

**5.3 - PIRÔMETROS ÓPTICOS**

**5.4 - RADIÔMETRO OU PIRÔMETROS DE RADIAÇÃO**

## **6 - EXERCÍCIOS**

## 1 – INTRODUÇÃO

O objetivo de se medir e controlar as diversas variáveis físicas em processos industriais é obter produtos de alta qualidade, com melhores condições de rendimento e segurança, a custos compatíveis com as necessidades do mercado consumidor.

Nos diversos segmentos de mercado seja, eles químico, petroquímico, siderúrgico, cerâmico, farmacêutico, vidreiro, alimentício, papel e celulose, hidrelétrico, nuclear entre outros, a monitoração da variável temperatura é fundamental para a obtenção do produto final especificado.

Termometria significa "Medição de Temperatura". Eventualmente o termo Pirometria é também aplicado com o mesmo significado, porém, baseando-se na etimologia das palavras, podemos definir:

PIROMETRIA - Medição de altas temperaturas, na faixa onde os efeitos de radiação térmica passam a se manifestar.

CRIOMETRIA - Medição de baixas temperaturas, ou seja, aquelas próximas ao zero absoluto de temperatura.

TERMOMETRIA - Termo mais abrangente que incluiria tanto a Pirometria, como a Criometria que seriam casos particulares de medição.

### 1.1 - TEMPERATURA E CALOR

Todas as substâncias são constituídas de pequenas partículas, as moléculas que se encontram em contínuo movimento. Quanto mais rápido o movimento das moléculas mais quente se apresenta o corpo e quanto mais lento mais frio se apresenta o corpo.

Então define-se temperatura como o grau de agitação térmica das moléculas.

Na prática a temperatura é representada em uma escala numérica, onde, quanto maior o seu valor, maior é a energia cinética média dos átomos do corpo em questão.

Outros conceitos que se confundem às vezes com o de temperatura são:

. **Energia Térmica.**

. **Calor.**

A Energia Térmica de um corpo é a somatória das energias cinéticas, dos seus átomos, e além de depender da temperatura, depende também da massa e do tipo de substância.

Calor é energia em trânsito ou a forma de energia que é transferida através da fronteira de um sistema em virtude da diferença de temperatura.

Até o final do século XVI, quando foi desenvolvido o primeiro dispositivo para avaliar temperatura, os sentidos do nosso corpo foram os únicos elementos de que dispunham os homens para dizer se um certo corpo estava mais quente ou frio do que um outro, apesar da inadequação destes sentidos sob ponto de vista científico.

A literatura geralmente reconhece três meios distintos de transmissão de calor: condução, radiação e convecção.

#### 1.1.1 - Condução

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio sólido, líquido ou gasoso ou entre meios diferentes em contato físico direto.

#### 1.1.2 – Radiação

A radiação é um processo pelo qual o calor flui de um corpo de alta temperatura para um de baixa, quando os mesmos estão separados no espaço, ainda que exista um vácuo entre eles.

### 1.1.3 – Convecção

A convecção é um processo de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento da mistura. A convecção é mais importante como mecanismo de transferência de energia (calor) entre uma superfície sólida e um líquido ou gás.

## 1.2 - ESCALAS DE TEMPERATURA

Desde o início da termometria, os cientistas, pesquisadores e fabricantes de termômetro, sentiam a dificuldade para atribuir valores de forma padronizada à temperatura por meio de escalas reproduzíveis, como existia na época, para Peso, Distância, Tempo.

Em 1706 Daniel Gabriel Fahrenheit, um fabricante de termômetros de Amsterdã, definiu uma escala de temperatura, a qual possui 3 pontos de referência – 0, 48 e 96. Números que representavam nas suas palavras o seguinte:- "48 no meu termômetro é o meio entre o frio mais intenso produzido artificialmente por uma mistura de água, gelo e sal-amoniaco, ou mesmo sal comum, e aquela que é encontrada (temperatura) no sangue de um homem saudável...".

Fahrenheit encontrou, que na sua escala o ponto de fusão do gelo valia 32 e o de ebulição da água 212 aproximadamente. Estes pontos, posteriormente foram considerados mais reprodutíveis e foram definidos como exatos e adotados como referência.

Em 1742, Anders Celsius, professor de Astronomia na Suécia, propôs uma escala com o zero no ponto de ebulição da água e 100 no ponto de fusão do gelo, no ano seguinte Christian de Lyons independentemente sugeriu a familiar escala centígrada (atualmente chamada escala Celsius).

### 1.1.1 – Escalas

As escalas que ficaram consagradas pelo uso foram Fahrenheit e a Celsius. A escala Fahrenheit é definida atualmente com o valor 32 no ponto de fusão do gelo e 212 no ponto de ebulição da água. O intervalo entre estes dois pontos é dividido em 180 partes iguais, e cada parte é um grau Fahrenheit. Toda temperatura na escala Fahrenheit é identificada com o símbolo "°F" colocado após o número (ex. 250°F).

A escala Celsius é definida atualmente com o valor zero no ponto de fusão do gelo e 100 no ponto de ebulição da água. O intervalo entre os dois pontos está dividido em 100 partes iguais, e cada parte é um grau Celsius. A denominação "grau centígrado" utilizada anteriormente no lugar de "Grau Celsius", não é mais recomendada, devendo ser evitado o seu uso.

A identificação de uma temperatura na escala Celsius é feita com o símbolo " °C " colocado após o número (Ex.: 160°C).

Tanto a escala Celsius como a Fahrenheit, são relativas, ou seja, os seus valores numéricos de referência são totalmente arbitrários.

Se baixarmos a temperatura continuamente de uma substância, atingimos um ponto limite além do qual é impossível ultrapassar, pela própria definição de temperatura. Este ponto, onde cessa praticamente todo movimento atômico, é o zero absoluto de temperatura.

Através da extrapolação das leituras do termômetro à gás, pois os gases se liqüefazem antes de atingir o zero absoluto, calculou-se a temperatura deste ponto na escala Celsius em -273,15°C.

Existem escalas absolutas de temperatura, assim chamadas porque o zero delas é fixado no zero absoluto de temperatura.

Existem duas escalas absolutas atualmente em uso: a Escala Kelvin e a Rankine.

A Escala Kelvin possui a mesma divisão da Celsius, isto é, um grau Kelvin é igual à um grau Celsius, porém o seu zero se inicia no ponto de temperatura mais baixa possível, 273,15 graus abaixo do zero da Escala Celsius.

A Escala Rankine possui obviamente o mesmo zero da escala Kelvin, porém sua divisão é idêntica à da Escala Fahrenheit. A representação das escalas absolutas é análoga às escalas relativas:- Kelvin ==> 400K (sem o símbolo de grau " ° "). Rankine ==> 785R.

A Escala Fahrenheit é usada principalmente na Inglaterra e Estados Unidos da América, porém seu uso tem declinado a favor da Escala Celsius de aceitação universal.

A Escala Kelvin é utilizada nos meios científicos no mundo inteiro e deve substituir no futuro a escala Rankine quando estiver em desuso a Fahrenheit.

Existe uma outra escala relativa a Reamur, hoje já praticamente em desuso. Esta escala adota como zero o ponto de fusão do gelo e 80 o ponto de ebulição da água. O intervalo é dividido em oitenta partes iguais. (Representação - °Re).

### 1.2.2 - Conversão de escalas

A figura a seguir, compara as escalas de temperaturas existentes.

	escalas absolutas		escalas relativas	
	R	K	°C	°F
Ponto de ebulição da água	671,67	373,15	100	212
Ponto de fusão do gelo	491,67	273,15	0	32
Zero absoluto	0	0	-273,15	-459,67

Desta comparação podemos retirar algumas relações básicas entre as escalas:

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} = \frac{\text{K} - 273}{5} = \frac{\text{R} - 491}{9}$$

Outras relações podem ser obtidas combinando as apresentadas entre si. Exemplo: O ponto de ebulição do oxigênio é -182,86°C. Exprimir esta temperatura em:

a) °C p/ K:

$$\text{K} = 273 + (-182,86) = 90,14 \text{ K}$$

b) °C p/ °F:

$$\frac{-182,86}{5} = \frac{^{\circ}\text{F} - 32}{9} = -297,14 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

c) °C p/ R:

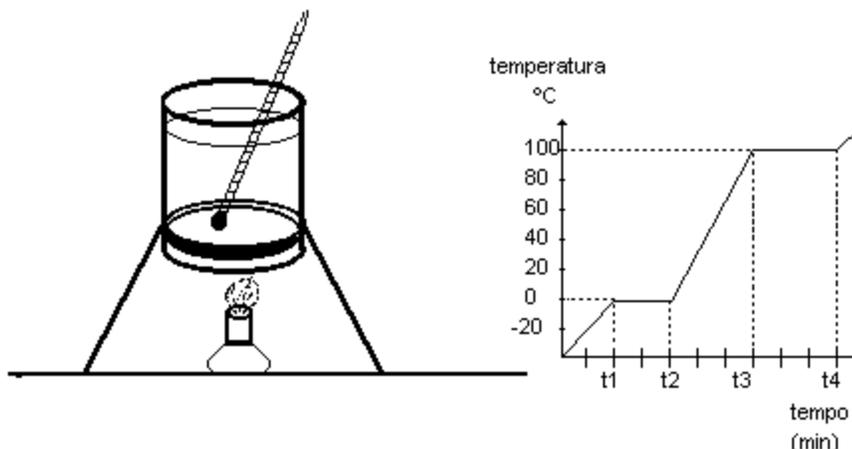
$$\frac{-182,86}{5} = \frac{\text{R} - 491}{9} = 161,85 \text{ R}$$

### 1.2.3 - Escala Prática Internacional de Temperatura

Para melhor expressar as leis da termodinâmica, foi criada uma escala baseada em fenômenos de mudança de estado físico de substâncias puras, que ocorrem em condições únicas de temperatura e pressão. São chamados de pontos fixos de temperatura.

Chama-se esta escala de IPTS - Escala Prática Internacional de Temperatura. A primeira escala prática internacional de temperatura surgiu em 1927 modificada em 1948 (IPTS-48). Em 1960 mais modificações foram feitas e em 1968 uma nova Escala Prática Internacional de Temperatura foi publicada (IPTS-68).

A mudança de estado de substâncias puras (fusão, ebulição) é normalmente desenvolvida sem alteração na temperatura. Todo calor recebido ou cedido pela substância é utilizado pelo mecanismo de mudança de estado.



Os pontos fixos utilizados pela IPTS-68 são dados na tabela abaixo:

ESTADO DE EQUILÍBRIO	TEMPERATURA (°C)
Ponto triplo do hidrogênio	-259,34
Ponto de ebulição do hidrogênio	-252,87
Ponto de ebulição do neônio	-246,048
Ponto triplo do oxigênio	-218,789
Ponto de ebulição do oxigênio	-182,962
Ponto triplo da água	0,01
Ponto de ebulição da água	100,00
Ponto de solidificação do zinco	419,58
Ponto de solidificação da prata	916,93
Ponto de solidificação do ouro	1064,43

#### Observação:

Ponto triplo é o ponto em que as fases sólida, líquida e gasosa encontram-se em equilíbrio.

A ainda atual IPTS-68 cobre uma faixa de -259,34 a 1064,34°C, baseada em pontos de fusão, ebulição e pontos triplos de certas substâncias puras como “por exemplo” o ponto de fusão de alguns metais puros.

Hoje já existe a ITS-90 Escala Internacional de Temperatura, definida em fenômenos determinísticos de temperatura e que definiu alguns pontos fixos de temperatura.

PONTOS FIXOS	IPTS-68	ITS-90
Ebulição do Oxigênio	-182,962°C	-182,954°C
Ponto triplo da água	+0,010°C	+0,010°C
Solidificação do estanho	+231,968°C	+231,928°C
Solidificação do zinco	+419,580°C	+419,527°C
Solidificação da prata	+961,930°C	+961,780°C
Solidificação do ouro	+1064,430°C	+1064,180°C

### 1.2.4 – Normas

Com o desenvolvimento tecnológico diferente em diversos países, criou-se uma série de normas e padronizações, cada uma atendendo uma dada região. As mais importantes são:

**ANSI - AMERICANA**

**DIN - ALEMÃ**

**JIS - JAPONESA**

**BS - INGLESA**

**UNI - ITALIANA**

Para atender as diferentes especificações técnicas na área da termometria, cada vez mais se somam os esforços com o objetivo de unificar estas normas. Para tanto, a Comissão Internacional Eletrotécnica - IEC, vem desenvolvendo um trabalho junto aos países envolvidos neste processo normativo, não somente para obter normas mais completas e aperfeiçoadas, mas também de prover meios para a internacionalização do mercado de instrumentação relativo a termopares.

Como um dos participantes desta comissão, o Brasil através da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, está também diretamente interessado no desdobramento deste assunto e vem adotando tais especificações como Normas Técnicas Brasileiras.

## 2 - MEDIDORES DE TEMPERATURA POR DILATAÇÃO / EXPANSÃO

### 2.1 - TERMÔMETRO A DILATAÇÃO DE LÍQUIDO

#### 2.1.1 – Características

Os termômetros de dilatação de líquidos, baseiam-se na lei de expansão volumétrica de um líquido com a temperatura dentro de um recipiente fechado.

A equação que rege esta relação é:

$$V_t = V_o.[ 1 + \beta_1.(\Delta t) + \beta_2.(\Delta t)^2 + \beta_3.(\Delta t)^3 ]$$

Onde

t = Temperatura do líquido em °C

V<sub>o</sub> = Volume do líquido à temperatura inicial de referência t<sub>o</sub>

V<sub>t</sub> = Volume do líquido à temperatura t

β<sub>1</sub>, β<sub>2</sub>, β<sub>3</sub> = Coeficiente de expansão do líquido °C<sup>-1</sup>

Δt = t - t<sub>o</sub>

Teoricamente esta relação não é linear, porém como os termos de segunda e terceira ordem são desprezíveis, na prática considera linear. E daí:

$$V_t = V_o.( 1 + \beta. \Delta t)$$

Os tipos podem variar conforme sua construção:

- Recipiente de vidro transparente
- Recipiente metálico

### 2.1.2 - Termômetros de dilatação de líquido em recipiente de vidro

É constituído de um reservatório, cujo tamanho depende da sensibilidade desejada, soldada a um tubo capilar de seção, mais uniforme possível fechado na parte superior.

O reservatório e parte do capilar são preenchidos de um líquido. Na parte superior do capilar existe um alargamento que protege o termômetro no caso da temperatura ultrapassar seu limite máximo.

Após a calibração, a parede do tubo capilar é graduada em graus ou frações deste. A medição de temperatura se faz pela leitura da escala no ponto em que se tem o topo da coluna líquida.

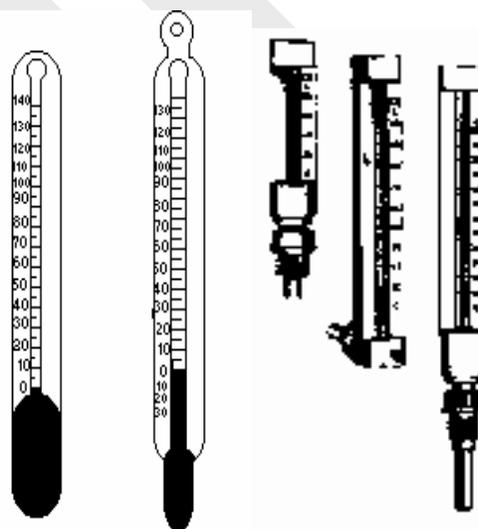
Os líquidos mais usados são: Mercúrio, Tolueno, Álcool e Acetona.

Nos termômetros industriais, o bulbo de vidro é protegido por um poço metálico e o tubo capilar por um invólucro metálico.

LÍQUIDO	PONTO DE SOLIDIFICAÇÃO(°C)	PONTO DE EBULIÇÃO(°C)	FAIXA DE USO(°C)
Mercúrio	-39	+357	-38 a 550
Álcool Etilico	-115	+78	-100 a 70
Tolueno	-92	+110	-80 a 100

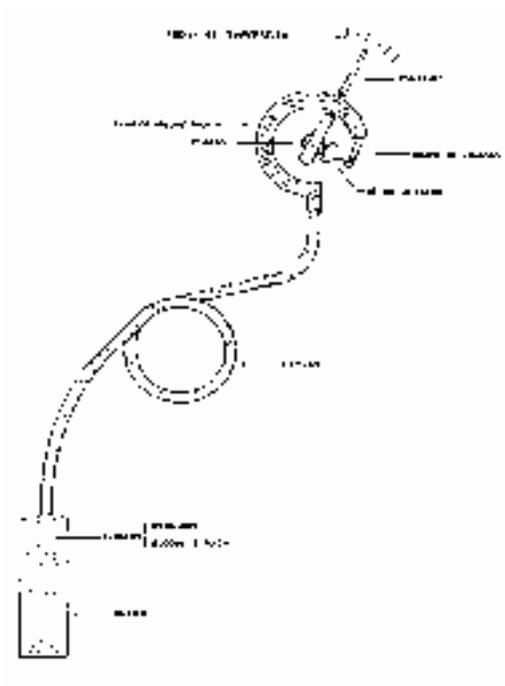
No termômetro de mercúrio, pode-se elevar o limite máximo até 550°C injetando-se gás inerte sob pressão, evitando a vaporização do mercúrio.

Por ser frágil e impossível registrar sua indicação ou transmiti-la à distância, o uso deste termômetro é mais comum em laboratórios ou em indústrias, com a utilização de uma proteção metálica.



### 2.1.3 - Termômetro de dilatação de líquido em recipiente metálico.

Neste termômetro, o líquido preenche todo o recipiente e sob o efeito de um aumento de temperatura se dilata, deformando um elemento extensível (sensor volumétrico).



Características dos elementos básicos deste termômetro:

### Bulbo

Suas dimensões variam de acordo com o tipo de líquido e principalmente com a sensibilidade desejada. A tabela abaixo mostra os líquidos mais usados e sua faixa de utilização:

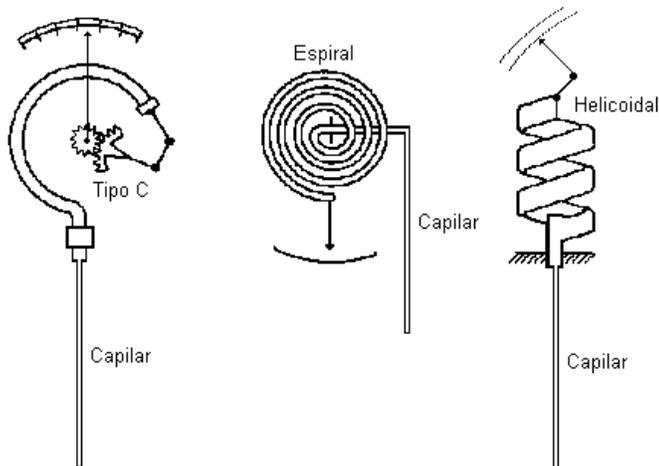
LÍQUIDO	FAIXA DE UTILIZAÇÃO (°C)
Mercúrio	-35 à +550
Xileno	-40 à +400
Tolueno	-80 à +100
Álcool	50 à +150

### Capilar

Suas dimensões são variáveis, sendo que o diâmetro interno deve ser o menor possível, a fim de evitar a influencia da temperatura ambiente, porém não deve oferecer resistência a passagem do líquido em expansão.

### Elemento de Medição

O elemento usado é o Tubo de Bourdon, podendo ser:



Os materiais mais usados são: bronze fosforoso, cobre - berílio, aço - inox e aço - carbono.

Pelo fato deste sistema utilizar líquido inserido num recipiente e da distância entre o elemento sensor e o bulbo ser considerável, a variação na temperatura ambiente afeta não somente o líquido no bulbo, mas em todo o sistema (bulbo, capilar e sensor) causando erro de indicação ou registro. Este efeito da temperatura ambiente é compensado de duas maneiras que são denominadas classe 1A e classe 1B.

Na classe 1B a compensação é feita somente no sensor, através de uma lamina bimetálica. Este sistema é normalmente preferido por ser mais simples, porém o comprimento máximo do capilar para este sistema de compensação é de aproximadamente 6 metros.

Quando esta distância for maior o instrumento deve possuir sistema de compensação classe 1A, onde a compensação é feita no sensor e no capilar, por meio de um segundo capilar ligado a um elemento de compensação idêntico ao de medição, sendo os dois ligados em oposição.

O segundo capilar tem comprimento idêntico ao capilar de medição, porém não está ligado a um bulbo.

A aplicação destes termômetros se encontra na indústria em geral para indicação e registro, pois permite leituras remotas e por ser o mais preciso dos sistemas mecânicos de medição de temperatura, porém não é recomendável para controle por causa de seu tempo de resposta ser relativamente grande (mesmo usando fluido trocador de calor entre bulbo e poço de proteção para diminuir este atraso conforme figura abaixo). O poço de proteção permite manutenção do termômetro com o processo em operação.

Recomenda-se não dobrar o capilar com curvatura acentuada para que não se forme restrição que prejudicariam o movimento do líquido em seu interior, causando problemas de medição.

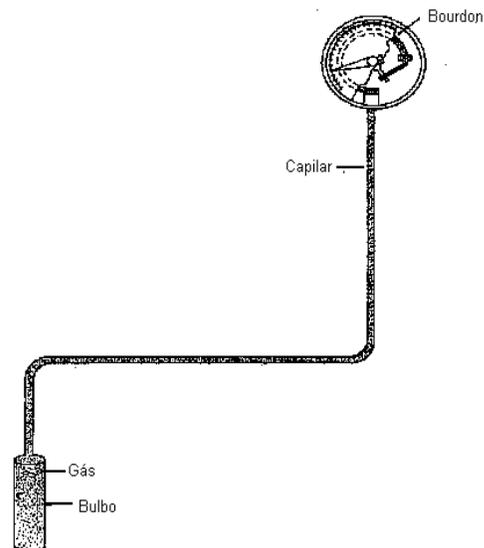
## 2.2 - TERMÔMETROS À PRESSÃO DE GÁS

### 2.2.1 - Princípio de funcionamento

Fisicamente idêntico ao termômetro de dilatação de líquido, consta de um bulbo, elemento de medição e capilar de ligação entre estes dois elementos.

O volume do conjunto é constante e preenchido com um gás a alta pressão. Com a variação da temperatura, o gás varia sua pressão conforme, aproximadamente a lei dos gases perfeitos, com o elemento de medição operando como medidor de pressão. A Lei de Gay - Lussac expressa matematicamente este conceito:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \dots = \frac{P_n}{T_n}$$



Observa-se que as variações de pressão são linearmente dependentes da temperatura, sendo o volume constante.

### 2.2.2 – Características

O gás mais utilizado é o N<sub>2</sub> e geralmente é pressurizado com uma pressão de 20 a 50 atm, na temperatura mínima a medir. Sua faixa de medição vai de -100 a 600 °C, sendo o limite inferior devido à própria temperatura crítica do gás e o superior proveniente do recipiente apresentar maior permeabilidade ao gás nesta temperatura, o que acarretaria sua perda inutilizando o termômetro.

Tipos de gás de enchimento:

Gás	Temperatura Crítica
Hélio ( He )	- 267,8 °C
Hidrogênio ( H <sub>2</sub> )	- 239,9 °C
Nitrogênio ( N <sub>2</sub> )	- 147,1 °C
Dióxido de Carbono ( CO <sub>2</sub> )	- 31,1 °C

## 2.3 - TERMÔMETRO À PRESSÃO DE VAPOR

### 2.3.1 - Princípio de funcionamento

Sua construção é bastante semelhante ao de dilatação de líquidos, baseando o seu funcionamento na Lei de Dalton:

"A pressão de vapor saturado depende somente de sua temperatura e não de seu volume"

Portanto para qualquer variação de temperatura haverá uma variação na tensão de vapor do gás liquefeito colocado no bulbo do termômetro e, em consequência disto, uma variação na pressão dentro do capilar.

A relação existente entre pressão de vapor de um líquido e sua temperatura é do tipo logarítmica e pode ser simplificada para pequenos intervalos de temperatura em:

$$P_1 / P_2 = H e . ( 1/T_1 - 1/T_2 ) / 4,58$$

onde

P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> = Pressões absolutas relativas às temperaturas

T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub> = Temperaturas absolutas

H e = Representa o calor latente de evaporação do líquido em questão

pontos de fusão e ebulição:

A tabela a seguir, mostra os líquidos mais utilizados e seus

Líquido	Ponto de Fusão ( °C )	Ponto de ebulição ( °C )
Cloreto de Metila	- 139	- 24
Butano	- 135	- 0,5
Éter Etílico	- 119	34
Tolueno	- 95	110
Dióxido de enxofre	- 73	- 10
Propano	- 190	- 42

## 2.4 - TERMÔMETROS À DILATAÇÃO DE SÓLIDOS (TERMÔMETROS BIMETÁLICOS)

### 2.4.1 - Princípio de funcionamento

Baseia-se no fenômeno da dilatação linear dos metais com a temperatura. Sendo:

$$L_t = L_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

Onde

$t$  = temperatura do metal em °C

$L_0$  = comprimento do metal à temperatura inicial de referência  $t_0$

$L_t$  = comprimento do metal à temperatura final  $t$

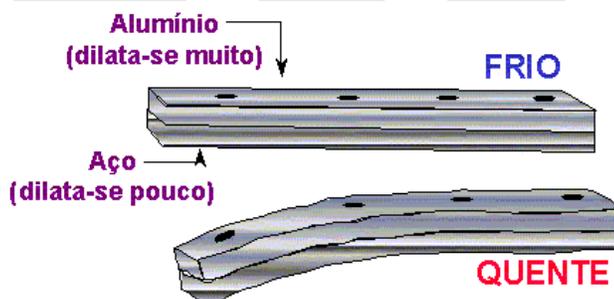
$\alpha$  = coeficiente de dilatação linear

$\Delta t = t - t_0$

### 2.4.2 - Características de construção

O termômetro bimetalico consiste em duas laminas de metais com coeficientes de dilatação diferentes sobrepostas, formando uma só peça. Variando-se a temperatura do conjunto, observa-se um encurvamento que é proporcional à temperatura.

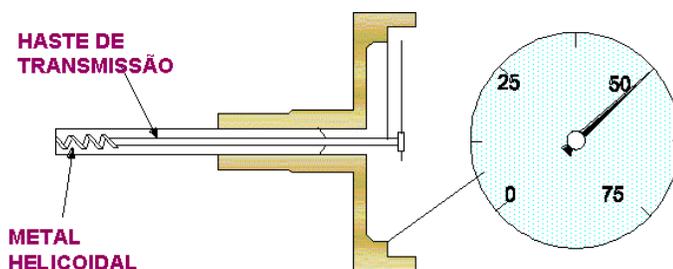
Na prática a lamina bimetalica é enrolada em forma de espiral ou hélice, o que aumenta bastante a sensibilidade.



O termômetro mais usado é o de lamina helicoidal, e consiste em um tubo bom condutor de calor, no interior do qual é fixado um eixo que por sua vez recebe um ponteiro que se desloca sobre uma escala.

Normalmente usa-se o Invar (aço com 64% Fe e 36% Ni) com baixo coeficiente de dilatação e o latão como metal de alto coeficiente de dilatação.

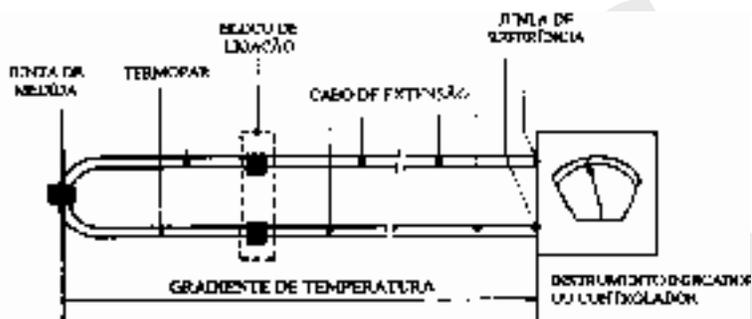
A faixa de trabalho dos termômetros bimetalicos vai aproximadamente de -50 a 800 °C, sendo sua escala bastante linear. Possui exatidão na ordem de +/- 1%.



### 3 - Medição de Temperatura com Termopar

Um termopar consiste de dois condutores metálicos, de natureza distinta, na forma de metais puros ou de ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo ao qual se dá o nome de junta quente ou junta de medição. A outra extremidade dos fios é levada ao instrumento de medição de f.e.m. (força eletromotriz), fechando um circuito elétrico por onde flui a corrente.

O ponto onde os fios que formam o termopar se conectam ao instrumento de medição é chamado de junta fria ou de referência.



O aquecimento da junção de dois metais gera o aparecimento de uma f.e.m.. Este princípio conhecido por efeito Seebeck propiciou a utilização de termopares para a medição de temperatura. Nas aplicações práticas o termopar apresenta-se normalmente conforme a figura acima.

O sinal de f.e.m. gerado pelo gradiente de temperatura ( $\Delta T$ ) existente entre as juntas quente e fria, será de um modo geral indicado, registrado ou transmitido.

#### 3.1 - EFEITOS TERMOELÉTRICOS

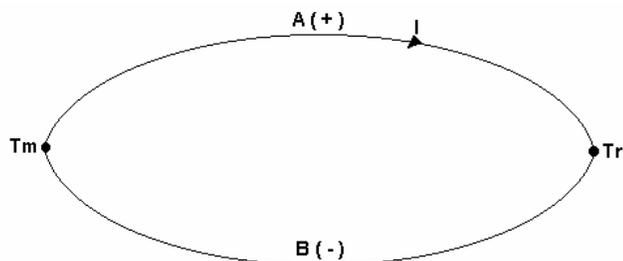
Quando dois metais ou semicondutores dissimilares são conectados e as junções mantidas a diferentes temperaturas, quatro fenômenos ocorrem simultaneamente: o efeito Seebeck, o efeito Peltier, o efeito Thomson e o efeito Volta.

A aplicação científica e tecnológica dos efeitos termoelétricos é muito importante e sua utilização no futuro é cada vez mais promissora. Os estudos das propriedades termoelétricas dos semicondutores e dos metais levam, na prática, à aplicação dos processos de medições na geração de energia elétrica (bateria solar) e na produção de calor e frio. O controle de temperatura feito por pares termoelétricos é uma das importantes aplicações do efeito Seebeck.

Atualmente, busca-se o aproveitamento industrial do efeito Peltier, em grande escala, para obtenção de calor ou frio no processo de climatização ambiente.

##### 3.1.1 – Efeito termoelétrico de Seebeck

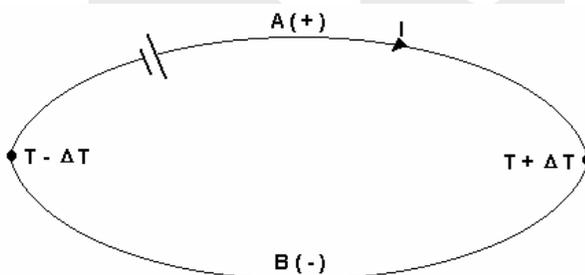
O fenômeno da termoeletricidade foi descoberto em 1821 por T.J. Seebeck quando ele notou que em um circuito fechado, formado por dois condutores diferentes A e B, ocorre uma circulação de corrente enquanto existir uma diferença de temperatura  $\Delta T$  entre as suas junções. Denominamos a junta de medição de  $T_m$ , e a outra, junta de referência de  $T_r$ . A existência de uma f.e.m. térmica AB no circuito é conhecida como efeito Seebeck. Quando a temperatura da junta de referência é mantida constante, verifica-se que a f.e.m. térmica é uma função da temperatura  $T_m$  da junção de teste. Este fato permite utilizar um par termoelétrico como um termômetro.



O efeito Seebeck se produz pelo fato de que os elétrons livres de um metal diferem de um condutor para outro e depende da temperatura. Quando dois condutores diferentes são conectados para formar duas junções e estas são mantidas a diferentes temperaturas, a difusão dos elétrons nas junções se produz a ritmos diferentes.

### 3.1.2 – Efeito termoelétrico de Peltier

Em 1834, Peltier descobriu que, dado um par termoelétrico com ambas as junções à mesma temperatura, se, mediante uma bateria exterior, produz-se uma corrente no termopar, as temperaturas das junções variam em uma quantidade não inteiramente devida ao efeito Joule. Esta variação adicional de temperatura é o efeito Peltier. O efeito Peltier produz-se tanto pela corrente proporcionada por uma bateria exterior como pelo próprio par termoelétrico.



O coeficiente Peltier depende da temperatura e dos metais que formam uma junção, sendo independente da temperatura da outra junção. O calor Peltier é reversível. Quando se inverte o sentido da corrente, permanecendo constante o seu valor, o calor Peltier é o mesmo, porém em sentido oposto.

### 3.1.3 – Efeito termoelétrico de Thomson

Em 1854, Thomson conclui, através das leis da termodinâmica, que a condução de calor, ao longo dos fios metálicos de um par termoelétrico, que não transporta corrente, origina uma distribuição uniforme de temperatura em cada fio.

Quando existe corrente, modifica-se em cada fio a distribuição de temperatura em uma quantidade não inteiramente devida ao efeito Joule. Essa variação adicional na distribuição da temperatura denomina-se efeito Thomson.

O efeito Thomson depende do metal de que é feito o fio e da temperatura média da pequena região considerada. Em certos metais há absorção de calor, quando uma corrente elétrica flui da parte fria para a parte quente do metal e que há geração de calor quando se inverte o sentido da corrente. Em outros metais ocorre o oposto deste efeito, isto é, há liberação de calor quando uma corrente elétrica flui da parte quente para a parte fria do metal. Conclui-se que, com a circulação de corrente ao longo de um fio condutor, a distribuição de temperatura neste condutor se modificará, tanto pelo calor dissipado por efeito Joule, como pelo efeito Thomson.

### 3.1.4 – Efeito termoelétrico de Volta

A experiência de Peltier pode ser explicada através do efeito Volta enunciado a seguir:

"Quando dois metais estão em contato a um equilíbrio térmico e elétrico, existe entre eles uma diferença de potencial que pode ser da ordem de Volts".

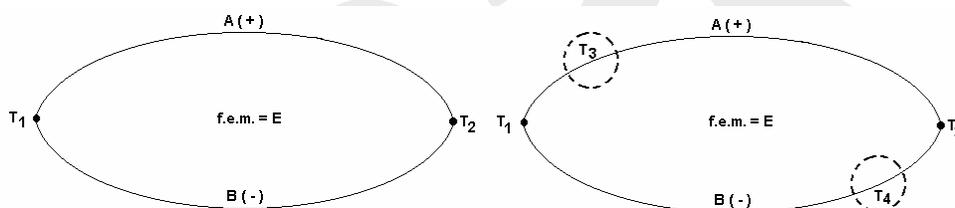
Esta diferença de potencial depende da temperatura e não pode ser medida diretamente.

## 3.2 - LEIS TERMOELÉTRICAS

Da descoberta dos efeitos termoelétricos partiu-se através da aplicação dos princípios da termodinâmica, a enunciação das três leis que constituem a base da teoria termoelétrica nas medições de temperatura com termopares, portanto, fundamentados nestes efeitos e nestas leis, podemos compreender todos os fenômenos que ocorrem na medida de temperatura com estes sensores.

### 3.2.1 – Lei do circuito homogêneo

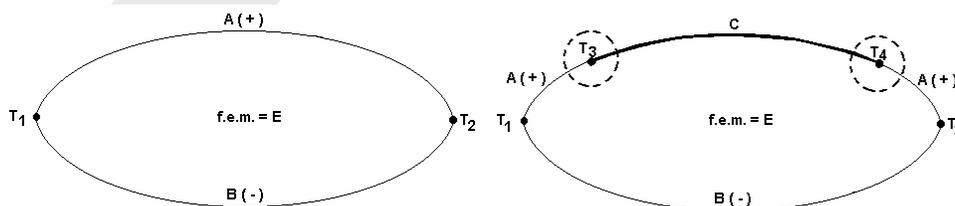
"A f.e.m. termal, desenvolvida em um circuito termoelétrico de dois metais diferentes, com suas junções às temperaturas  $T_1$  e  $T_2$ , é independente do gradiente de temperatura e de sua distribuição ao longo dos fios". Em outras palavras, a f.e.m. medida depende única e exclusivamente da composição química dos dois metais e das temperaturas existentes nas junções.



Um exemplo de aplicação prática desta lei é que podemos ter uma grande variação de temperatura em um ponto qualquer, ao longo dos fios dos termopares, que esta não influirá na f.e.m. produzida pela diferença de temperatura entre as juntas, portanto, podem fazer medidas de temperaturas em pontos bem definidos com os termopares, pois o importante é a diferença de temperatura entre as juntas.

### 3.2.2 – Lei dos metais intermediários

"A soma algébrica das f.e.m. termais em um circuito composto de um número qualquer de metais diferentes é zero, se todo o circuito estiver à mesma temperatura". Deduz-se daí que um circuito termoelétrico, composto de dois metais diferentes, a f.e.m. produzida não será alterada ao inserirmos, em qualquer ponto do circuito, um metal genérico, desde que as novas junções sejam mantidas a temperaturas iguais.



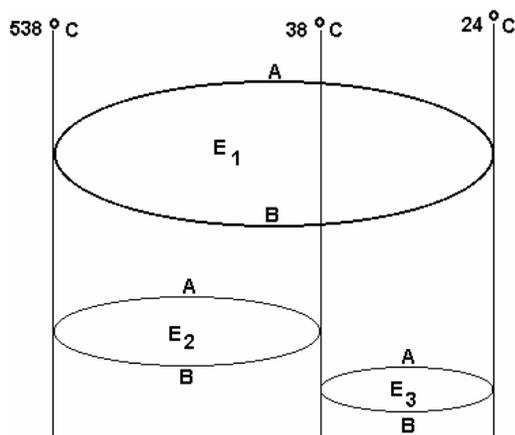
Onde se conclui que:

$$T_3 = T_4 \rightarrow E_1 = E_2$$

$$T_3 = T_4 \rightarrow E_1 = E_2$$

Um exemplo de aplicação prática desta lei é a utilização de contatos de latão ou cobre, para interligação do termopar ao cabo de extensão no cabeçote.

### 3.2.3 – Lei das temperaturas intermediárias

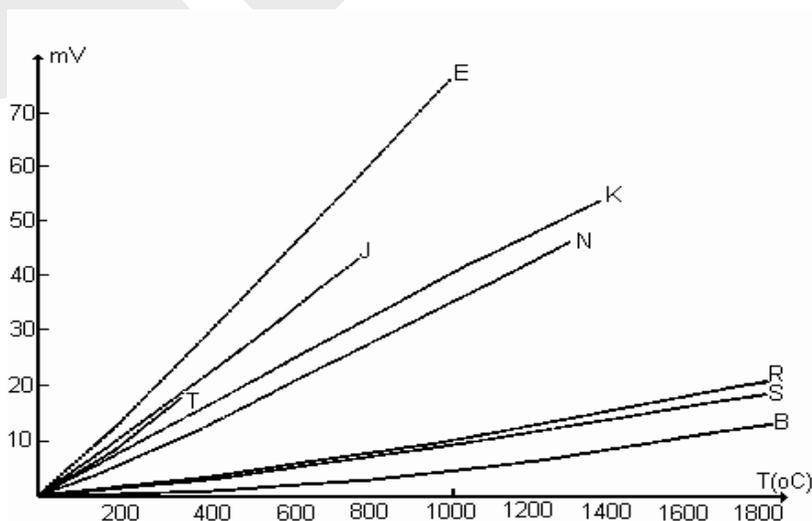


"A f.e.m. produzida em um circuito termoelétrico de dois metais homogêneos e diferentes entre si, com as suas junções às temperaturas T1 e T3 respectivamente, é a soma algébrica da f.e.m. deste circuito, com as junções às temperaturas T1 e T2 e a f.e.m. deste mesmo circuito com as junções às temperaturas T2 e T3".

Um exemplo prático da aplicação desta lei é a compensação ou correção da temperatura ambiente pelo instrumento receptor de milivoltagem.

### 3.3 - CORRELAÇÃO DA F.E.M. EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Visto que a f.e.m. gerada em um termopar depende da composição química dos condutores e da diferença de temperatura entre as juntas, isto é, a cada grau de variação de temperatura, podemos observar uma variação da f.e.m. gerada pelo termopar, podemos, portanto, construir uma tabela de correlação entre temperatura e a f.e.m., por uma questão prática padronizou-se o levantamento destas curvas com a junta de referência à temperatura de 0°C.



Essas tabelas foram padronizadas por diversas normas internacionais e levantadas de acordo com a Escala Prática Internacional de Temperatura de 1968 ( IPTS-68 ), recentemente atualizada pela ITS-90, para os termopares mais utilizados.

A partir dessas tabelas podemos construir um gráfico conforme a figura a seguir, onde estão relacionadas as milivoltagens geradas em função das temperaturas, para os termopares segundo a norma ANSI, com a junta de referência a 0°C.

### 3.4 - TIPOS E CARACTERÍSTICAS DOS TERMOPARES

Existem várias combinações de 2 metais condutores operando como termopares. As combinações de fios devem possuir uma relação razoavelmente linear entre temperatura e f.e.m.; devem desenvolver uma f.e.m. por grau de mudança de temperatura, que seja detectável pelos equipamentos normais de medição.

Foram desenvolvidas diversas combinações de pares de Ligas Metálicas, desde os mais corriqueiros de uso industrial, até os mais sofisticados para uso especial ou restrito a laboratório.

Essas combinações foram feitas de modo a se obter uma alta potência termoelétrica, aliando-se ainda as melhores características como homogeneidade dos fios e resistência à corrosão, na faixa de utilização, assim cada tipo de termopar tem uma faixa de temperatura ideal de trabalho, que deve ser respeitada, para que se tenha a maior vida útil do mesmo. Podemos dividir os termopares em três grupos, a saber:

- Termopares Básicos
- Termopares Nobres
- Termopares Especiais

#### 3.4.1 – Termopares básicos

São assim chamados os termopares de maior uso industrial, em que os fios são de custo relativamente baixo e sua aplicação admite um limite de erro maior. A seguir daremos informações sobre os termopares da norma ANSI MC – 96.1 e baseados na ITS – 90.

##### Tipo T

**Cor do fio:** ( + ) Azul ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Azul

**Liga:** ( + ) Cobre - ( 99,9 % )

( - ) Constantan - São as ligas de Cu - Ni compreendidos no intervalo entre Cu ( 50 % ) e Cu ( 65 % ) Ni ( 35 % ). A composição mais utilizada para este tipo de termopar é de Cu ( 58 % ) e Ni ( 42 % ).

**Características:**

Faixa de utilização: - 184 °C a 370 °C

F.e.m. produzida: - 6,258 mV a 20,810 mV

Aplicações: Criometria (baixas temperaturas), Indústrias de refrigeração, Pesquisas agrônomicas e ambientais, Química e Petroquímica.

##### Tipo J

**Cor do fio:** ( + ) Branco ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Preto

**Liga:** ( + ) Ferro - ( 99,5 % )

( - ) Constantan= Cu ( 58 % ) e Ni ( 42 % ). Normalmente se produz o ferro a partir de sua característica e casa-se o constantan adequado.

**Características:**

Faixa de utilização: 0 °C a 760 °C

F.e.m. produzida: - 8,095 mV a 43,559 mV

Aplicações: Centrais de energia, Metalúrgica, Química, Petroquímica, indústrias em geral.

**Tipo E**

**Cor do fio:** ( + ) Violeta ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Violeta

**Liga:** ( + ) Chromel - Ni ( 90 % ) e Cr ( 10 % )  
( - ) Constantan - Cu ( 58 % ) e Ni ( 42 % )

**Características:**

Faixa de utilização: 0 °C a 870 °C

F.e.m. produzida: - 9,835 mV a 76,298 mV

Aplicações: Química e Petroquímica

**Tipo K**

**Cor do fio:** ( + ) Amarelo ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Amarelo

**Liga:** ( + ) Chromel - Ni ( 90 % ) e Cr ( 10 % )  
( - ) Alumel - Ni( 95,4 % ), Mn( 1,8 % ), Si( 1,6 % ), Al( 1,2 % )

**Características:**

Faixa de utilização: 0 °C a 1260 °C

f.e.m. produzida: - 6,458 mV a 54,852 mV

Aplicações: Metalúrgicas, Siderúrgicas, Fundição, Usina de Cimento e Cal, Vidros, Cerâmica, Indústrias em geral.

**3.4.2 - Termopares Nobres**

São aqueles que os pares são constituídos de platina. Embora possuam custo elevado e exijam instrumentos receptores de alta sensibilidade, devido à baixa potência termoelétrica, apresentam uma altíssima precisão, dada a homogeneidade e pureza dos fios dos termopares.

**Tipo S**

**Cor do fio:** ( + ) Preto ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Verde

**Liga:** ( + ) Platina 90% Rhodio 10 %  
( - ) Platina 100 %

**Características:**

Faixa de utilização: 0 °C a 1480 °C

F.e.m. produzida: - 0,236 mV a 18,693 mV

Aplicações: Siderúrgica, Fundição, Metalúrgica, Usina de Cimento, Cerâmica, Vidro e Pesquisa Científica.

**Observação:** É utilizado em sensores descartáveis na faixa de 1200 a 1768 °C, para medição de metais líquidos em Siderúrgicas e Fundições

**Tipo R**

**Cor do fio:** ( + ) Preto ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Verde

**Liga:** ( + ) Platina 87 % Rhodio 13 %  
( - ) Platina 100 %

**Características:**

Faixa de utilização: 0 °C a 1480 °C

F.e.m. produzida: - 0,226 mV a 21,101 mV

Aplicações: As mesmas do tipo S

**Tipo B**

**Cor do fio:** ( + ) Cinza ( - ) Vermelho

**Cor do cabo:** Cinza

**Liga:** ( + ) Platina 70 % Rhodio 30 %

( - ) Platina 94 % Rhodio 6 %

**Características:**

Faixa de utilização: 870a 1705 °C

f.e.m. produzida: 0 mV a 13,809 mV

Aplicações: Vidro, Siderúrgica, alta temperatura em geral.

**3.4.3 – Termopares Especiais**

Ao longo dos anos, os tipos de termopares produzidos oferecem, cada qual, uma característica especial, porém apresentam restrições de aplicação, que devem ser consideradas.

Novos tipos de termopares foram desenvolvidos para atender as condições de processo onde os termopares básicos não podem ser utilizados.

**TUNGSTÊNIO – RHÊNIO**

Esses termopares podem ser usados continuamente até 2300 °C e por curto período até 2750 °C.

**IRÍDIO 40 % - RHODIO / IRÍDIO**

Esses termopares podem ser utilizados por períodos limitados até 2000 °C.

**PLATINA - 40% RHODIO / PLATINA - 20% RHODIO**

Esses termopares são utilizados em substituição ao tipo B onde temperaturas um pouco mais elevadas são requeridas. Podem ser usados continuamente até 1600 °C e por curto período até 1800 °C ou 1850 °C.

**OURO-FERRO / CHROMEL**

Esses termopares são desenvolvidos para trabalhar em temperaturas criogênicas.

**NICROSIL / NISIL**

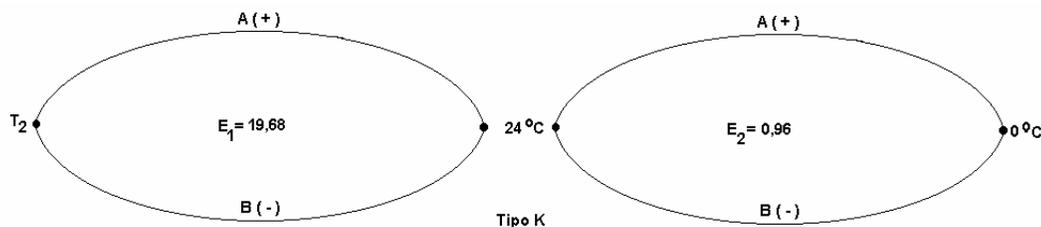
Basicamente, este novo par termoelétrico é um substituto para o par tipo K, apresentando uma força eletromotriz um pouco menor em relação ao tipo K.

**3.5 - CORREÇÃO DA JUNTA DE REFERÊNCIA**

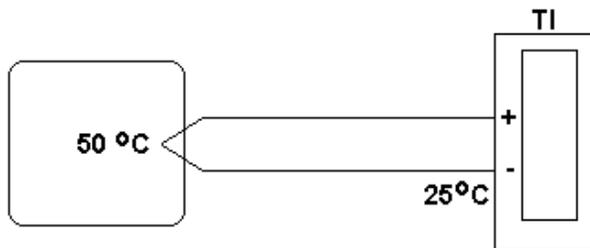
As tabelas existentes da f.e.m. gerada em função da temperatura para os termopares, têm fixado a junta de referência a 0 °C ( ponto de solidificação da água ), porém nas aplicações práticas dos termopares junta de referência é considerada nos terminais do instrumento receptor e esta se encontra a temperatura ambiente que é normalmente diferente de 0 °C e variável com o tempo, tornando assim necessário que se faça uma correção da junta de referência, podendo esta ser automática ou manual

Os instrumentos utilizados para medição de temperatura com termopares costumam fazer a correção da junta de referência automaticamente, sendo um dos métodos utilizados, a medição da temperatura nos terminais do instrumento, através de circuito eletrônico, sendo que este circuito adiciona a milivoltagem que chega aos terminais, uma milivoltagem correspondente à diferença de temperatura de 0 °C à temperatura ambiente.

Existem também alguns instrumentos em que a compensação da temperatura é fixa em 20 °C ou 25 °C. Neste caso, se a temperatura ambiente for diferente do valor fixo, o instrumento indicará a temperatura com um erro que será tanto maior quanto maior for a diferença de temperatura ambiente e do valor fixo.



É importante não esquecer que o termopar mede realmente a diferença entre as temperaturas das junções. Então para medirmos a temperatura do ponto desejado precisamos manter a temperatura da junção de referência invariável.



$$\begin{aligned} \text{FEM} &= \text{JM} - \text{JR} \\ \text{FEM} &= 2,25 - 1,22 \\ \text{FEM} &= 1,03 \text{ mV} \rightarrow 20 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Esta temperatura obtida pelo cálculo está errada, pois o valor da temperatura correta que o meu termômetro tem que medir é de 50 °C.

$$\begin{aligned} \text{FEM} &= \text{JM} - \text{JR} \\ \text{FEM} &= 2,25 - 1,22 \\ \text{FEM} &= 1,03 \text{ mV} + a \text{ mV correspondente a temperatura ambiente para fazer a compensação automática,} \\ &\text{portanto:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FEM} &= \text{mV JM} - \text{mV JR} + \text{mV CA (Compensação automática)} \\ \text{FEM} &= 2,25 - 1,22 + 1,22 \\ \text{FEM} &= 2,25 \text{ mV} \rightarrow 50 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

A leitura agora está correta, pois 2,25 mV corresponde a 50 °C que é a temperatura do processo.

Hoje em dia a maioria dos instrumentos fazem a compensação da junta de referência automaticamente. A compensação da junta de referência pode ser feita manualmente. Pega-se o valor da mV na tabela correspondente a temperatura ambiente e acrescenta-se ao valor de mV lido por um milivoltímetro.

### 3.6 - FIOS DE COMPENSAÇÃO E EXTENSÃO

Na maioria das aplicações industriais de medição de temperatura, através de termopares, o elemento sensor não se encontra junto ao instrumento receptor.

Nestas condições torna-se necessário que o instrumento seja ligado ao termopar, através de fios que possuam uma curva de força eletromotriz em função da temperatura similar aquela do termopar, afim de que no instrumento possa ser efetuada a correção na junta de referência.

#### Definições:

1- Convenciona-se chamar de fios aqueles condutores constituídos por um eixo sólido e de cabos aqueles formados por um feixe de condutores de bitola menor, formando um condutor flexível.

2- Chama-se de fios ou cabos de extensão aqueles fabricados com as mesmas ligas dos termopares a que se destinam. Exemplo: Tipo TX, JX, EX e KX.

3- Chama-se de fios ou cabos de compensação àqueles fabricados com ligas diferentes das dos termopares a que se destinam, porém que forneçam, na faixa de utilização recomendada, uma curva da força eletromotriz em função da temperatura equivalente à desses termopares. Exemplo : Tipo SX e BX.

Os fios e cabos de extensão e compensação são recomendados na maioria dos casos para utilização desde a temperatura ambiente até um limite máximo de 200 °C. Nos manuais dos fabricantes de termopares existe uma tabela com o código de cores para cada tipo de cabo ou fio de compensação / extensão de acordo com a norma correspondente.

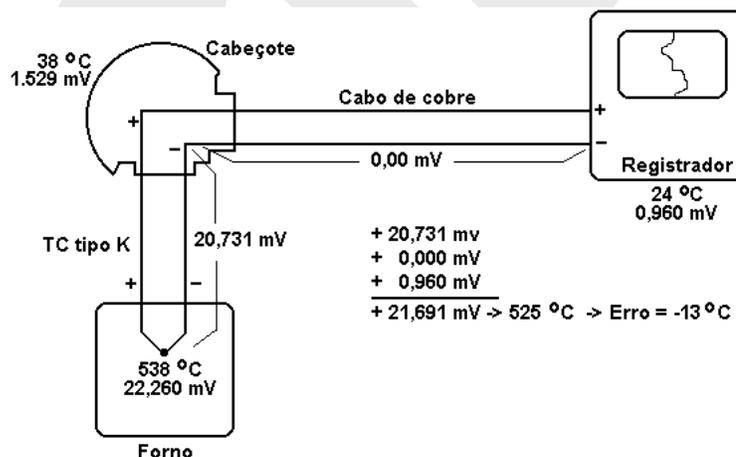
### 3.7 - ERROS DE LIGAÇÃO

#### 3.7.1 - Usando fios de cobre

Geralmente na aplicação industrial, é necessário que o termopar e o instrumento encontrem-se relativamente afastados, por não convir que o aparelho esteja demasiadamente próximo ao local onde se mede a temperatura. Nestas circunstâncias deve-se, processar a ligação entre os terminais do cabeçote e o aparelho, através de fios de extensão ou compensação.

Tal procedimento é executado sem problemas desde que, o cabeçote onde estão os terminais do termopar e o registrador, estejam a mesma temperatura de medição.

Veamos o que acontece quando esta norma não é obedecida.



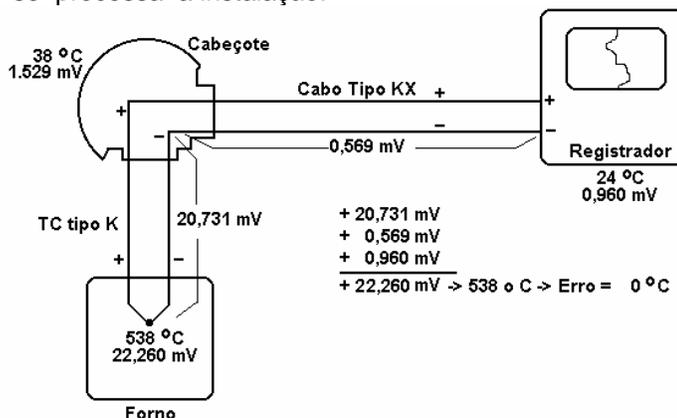
Na figura acima um termopar de Chromel - Alumel é colocado em um forno, cuja temperatura é de 538 °C. Das tabelas características dos termopares constata-se que a FEM é de 22,26 mV na junta de medição. A extremidade do termopar encontra-se em um cabeçote, onde são conectados a um fio duplo de cobre, que daí prossegue até um registrador a 24 °C. Pode-se facilmente verificar pela ilustração, que a FEM gerada no cabeçote é 1,529 mV, portanto, a FEM efetiva nos terminais do cabeçote é de 20,731 mV (22,26 - 1,529).

Esta é a FEM efetiva, que está chegando ao registrador e é adicionada a mV gerada pelo compensador automático de temperatura do registrador, ou seja, 20,731 mV + 0,96 mV que será igual a 21,69 mV. Esta FEM (21,69 mV) corresponde a uma temperatura de 525 °C, existindo, portanto um erro de 13 °C. Porém considerando-se que é necessário estar o registrador a uma temperatura próxima da ambiente, como poderíamos corrigir este erro ?

Uma solução simples é que normalmente é usada na prática, será a inserção de fios de compensação entre o cabeçote e o registrador. Estes fios de compensação em síntese, nada mais são que outros

termopares cuja função é compensar a queda da FEM que aconteceu no caso estudado, ocasionada pela diferença de temperatura entre o cabeçote e o registrador.

Vejam os que acontecem se, no exemplo anterior, ao invés de cobre usamos um fio compensado. A figura mostra de que maneira se processa a instalação.

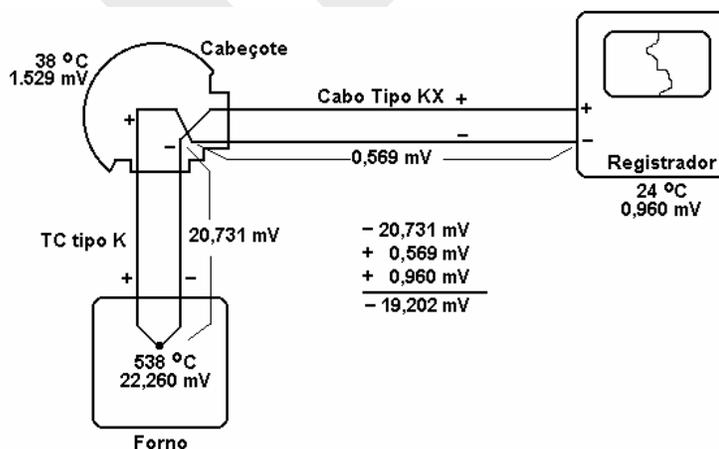


Como no caso acima, a FEM efetiva no cabeçote é de 20,74 mV. Delá, até o registrador, são utilizados fios de extensão compensados, os quais adicionam a FEM uma parcela igual a 0,57 mV, fazendo assim com que chegue ao registrador uma FEM efetiva de 22,26 mV. Este valor corresponderá à temperatura real dentro do forno (538 °C). A vantagem desta técnica provém do fato de que os fios de compensação, além de terem custo menor que os fios do termopar propriamente dito, também são mais resistentes.

### 3.7.2 - Inversão Simples

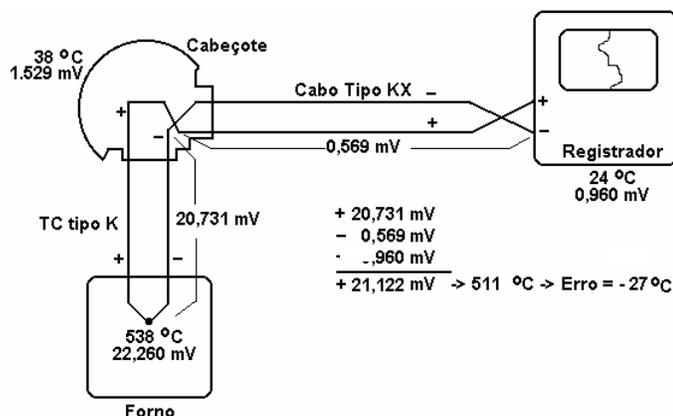
Conforme o esquema a seguir, os fios de compensação foram invertidos.

Assume-se que o forno esteja a 538 °C, o cabeçote a 38 °C e o registrador a 24 °C. Devido à diferença de temperatura entre o cabeçote e o registrador, será gerada uma FEM de 0,57 mV. Porém em virtude da simples inversão, o fio positivo está ligado no borne negativo do registrador e vice-versa. Isto fará com que a FEM produzida ao longo do circuito se oponha àquela do circuito de compensação automática do registrador. Isto fará com que o registrador indique uma temperatura negativa.



### 3.7.3 - Inversão dupla

No caso a seguir, consideramos o caso da existência de uma dupla inversão, isto acontece com frequência, pois quando uma simples inversão é constatada, é comum pensar-se que uma nova troca de ligação dos terminais compensará o erro. Porém isto não acontece, e a única maneira de solucionar o problema será efetuar uma ligação correta.



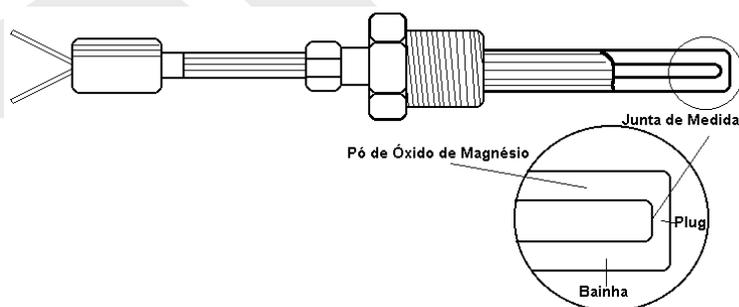
É evidente que se o cabeçote e o registrador estiverem a uma mesma temperatura, a dupla inversão não ocasionará discrepância na medição, contudo, estudaremos o caso em que o cabeçote e o registrador estão a temperaturas desiguais.

O cabeçote está a 38 °C e o registrador a 24 °C. Novamente consideramos como sendo 538 °C a temperatura do forno. Neste caso a mV efetiva do termopar será de 20,74 mV. A FEM gerada pelos fios de compensação será de 0,57 mV só que estes estão invertidos. A FEM gerada pelo termopar e os fios de compensação será acrescida da mV gerada pela compensação automática do registrador. Verificamos então que a temperatura indicada pelo registrador apresenta um erro de 27 °C devido ao erro da dupla inversão.

### 3.8 - TERMOPAR DE ISOLAÇÃO MINERAL

O termopar de isolação mineral é constituído de um ou dois pares termoelétricos, envolvidos por um pó isolante de óxido de magnésio, altamente compactado em uma bainha externa metálica. Devido a esta construção, os condutores do par termoelétrico ficam totalmente protegidos contra a atmosfera exterior, conseqüentemente a durabilidade do termopar depende da resistência à corrosão da sua bainha e não da resistência à corrosão dos condutores. Em função desta característica, a escolha do material da bainha é fator importante na especificação destes.

#### 3.8.1 - Vantagens dos termopares de isolação mineral



#### A. ESTABILIDADE NA FORÇA ELETROMOTRIZ

A estabilidade da FEM do termopar é caracterizada em função dos condutores estarem completamente protegidos contra a ação de gases e outras condições ambientais, que normalmente causam oxidação e conseqüentemente perda da FEM gerada.

#### B. RESISTÊNCIA MECÂNICA

O pó muito bem compactado, contido dentro da bainha metálica, mantém os condutores uniformemente posicionados, permitindo que o cabo seja dobrado achatado, torcido ou estirado, suporte pressões externas e choque térmico, sem qualquer perda das propriedades termoeletricas.

### C. DIMENSÃO REDUZIDA

O processo de fabricação permite a produção de termopares de isolamento mineral, com bainhas de diâmetro externo até 1,0 mm, permitindo a medida de temperatura em locais que não eram anteriormente possíveis com termopares convencionais.

### D. IMPERPEABILIDADE A ÁGUA, ÓLEO E GÁS

A bainha metálica assegura a impermeabilidade do termopar a água, óleo e gás.

### E. FACILIDADE DE INSTALAÇÃO

A maleabilidade do cabo, a sua pequena dimensão, longo comprimento grande resistência mecânica, asseguram facilidade de instalação, mesmo nas situações mais difíceis.

### F. ADAPTABILIDADE

A construção do termopar de isolamento mineral permite que o mesmo seja tratado como se fosse um condutor sólido. Em sua capa metálica podem ser montados acessórios, por soldagem ou brasagem e quando necessário, sua seção pode ser reduzida ou alterada em sua configuração.

### G. RESPOSTA MAIS RÁPIDA

A pequena massa e a alta condutividade térmica do pó de óxido de magnésio proporcionam ao termopar de isolamento mineral um tempo de resposta que é virtualmente igual ao de um termopar descoberto de dimensão equivalente.

### H. RESISTÊNCIA A CORROSÃO

As bainhas podem ser selecionadas adequadamente para resistir ao ambiente corrosivo.

### I. RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO ELEVADA

O termopar de isolamento mineral tem uma resistência de isolamento elevada, numa vasta gama de temperaturas, a qual pode ser mantida sob condições mais úmidas.

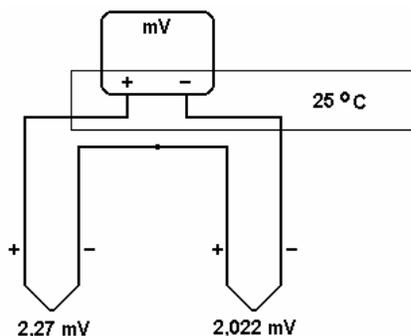
### J. BLINDAGEM ELETROSTÁTICA

A bainha do termopar de isolamento mineral, devidamente aterrada, oferece uma perfeita blindagem eletrostática ao par termoeletrico.

## 3.9 - ASSOCIAÇÃO DE TERMOPARES

### 3.9.1 - Associação série

Podemos ligar os termopares em série simples para obter a soma das mV individuais. É a chamada termopilha. Este tipo de ligação é muito utilizada em pirômetros de radiação total, ou seja, para soma de pequenas mV.



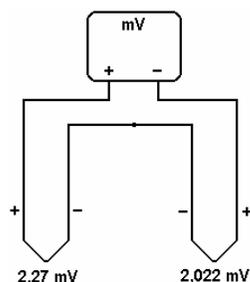
O instrumento de medição pode ou não compensar a mV da junta de referência. Se compensar deverá compensar uma mV correspondente ao n° de termopares aplicados na associação.

Exemplo: 3 termopares → mVJR = 1 mV → compensa 3 mV

### 3.9.2 - Associação Série-oposta

Para medir a diferença de temperatura entre 2 pontos ligamos os termopares em série-oposta. O que mede maior temperatura vai ligado ao positivo do instrumento. Os termopares sempre são do mesmo tipo. Exemplo:

Os termopares estão medindo 56 °C e 50 °C respectivamente, e a diferença será medida pelo milivoltímetro.

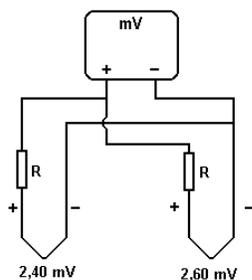


$$\begin{aligned} \text{FEM T} &= \text{FEM2} - \text{FEM 1} \\ \text{FEM T} &= 56^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C} \\ \text{FEM T} &= 2,27 - 2,022 \\ \text{FEM T} &= 0,248 \text{ mV} = 6^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Não é necessário compensar a temperatura ambiente desde que as juntas de referência estejam à mesma temperatura.

### 3.9.3 - Associação em paralelo

Ligando 2 ou mais termopares em paralelo a um mesmo instrumento, teremos a média das mV geradas nos diversos termopares se as resistências internas foram iguais.



$$\begin{aligned} \text{Exemplo:} \\ \text{mV} &= \frac{2,4 + 2,6}{2} = 2,5 \text{ mV} \end{aligned}$$

## 4 – MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR TERMORESISTÊNCIA

Os métodos de utilização de resistências para medição de temperatura iniciaram-se ao redor de 1835, com Faraday, porém só houve condições de se elaborar as mesmas para utilização em processos industriais a partir de 1925.

Esses sensores adquiriram espaço nos processos industriais por suas condições de alta estabilidade mecânica e térmica, resistência à contaminação, baixo índice de desvio pelo envelhecimento e tempo de uso.

Devido a estas características, esse sensor é padrão internacional para a medição de temperatura na faixa de -270 °C a 850 °C. em seu modelo de laboratório.

#### 4.1 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Os bulbos de resistência são sensores que se baseiam no princípio de variação da resistência em função da temperatura. Os materiais mais utilizados para a fabricação destes tipos de sensores são a platina, cobre ou níquel, que são metais que apresentam características de:

- Alta resistividade, permitindo assim uma melhor sensibilidade do sensor.
- Ter alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura.
- Ter rigidez e ductilidade para ser transformado em fios finos.

A equação que rege o fenômeno é a seguinte:

Para faixa de -200 a 0 °C:

$$R_t = R_0 \cdot [ 1 + A \cdot T + B \cdot T^2 + C \cdot T^3 \cdot ( T - 100 ) ]$$

Para faixa de 0 a 850 °C:

$$R_t = R_0 \cdot [ 1 + A \cdot T + B \cdot T^2 ]$$

onde:

$R_t$  = resistência na temperatura T ( $\Omega$ )

$R_0$  = resistência a 0 °C ( $\Omega$ )

T = temperatura (°C)

A , B , C = coeficientes inerentes do material empregado

$$A = 3,90802 \times 10^{-3}$$

$$B = -5,802 \times 10^{-7}$$

$$C = -4,2735 \times 10^{-12}$$

O número que expressa a variação de resistência em função da temperatura é chamado de alfa ( $\alpha$ ) e se relaciona da seguinte forma:

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0}$$

Um valor típico de alfa para  $R_{100} = 138,50 \Omega$  é de  $3,850 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \Omega^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$  segundo a DIN-IEC 751/85.

#### 4.2 - CONSTRUÇÃO FÍSICA DO SENSOR

O bulbo de resistência se compõe de um filamento, ou resistência de Pt, Cu ou Ni, com diversos revestimentos, de acordo com cada tipo e utilização.

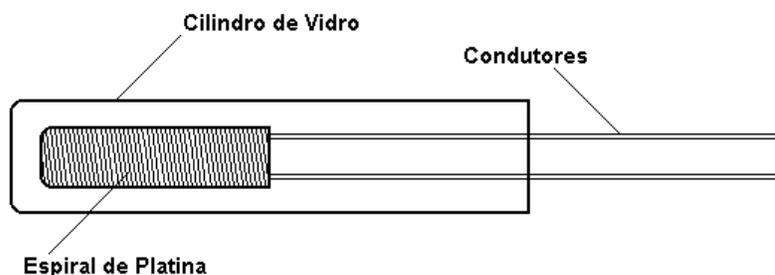
As termoresistências de Ni e Cu têm sua isolamento normalmente em esmalte, seda, algodão ou fibra de vidro. Não existe necessidade de proteções mais resistentes à temperatura, pois acima de 300 °C o níquel perde suas propriedades características de funcionamento como termoresistência e o cobre sofre problemas de oxidação em temperaturas acima de 310 °C.

Os sensores de platina, devido a suas características, permitem um funcionamento até temperaturas mais elevadas, têm seu encapsulamento normalmente em cerâmica ou vidro. A este sensor são dispensados maiores cuidados de fabricação, pois apesar da Pt não restringir o limite de temperatura de utilização, quando a mesma é utilizada em temperaturas elevadas, existe o risco de contaminação dos fios.

Para utilização como termômetro padrão, os sensores de platina são completamente desprotegidos do corpo de proteção. A separação é feita por isoladores, espaçadores de mica, conforme desenho abaixo. Esta montagem não tem problemas relativos à dilatação, porém é extremamente frágil.

Os medidores parcialmente apoiados têm seus fios introduzidos numa peça de alumina de alta pureza com fixador vítreo. É um meio termo entre resistência a vibração e dilatação térmica.

A versão completamente apoiada pode suportar vibrações muito mais fortes, porém sua faixa de utilização fica limitada a temperaturas mais baixas, devido à dilatação dos componentes.



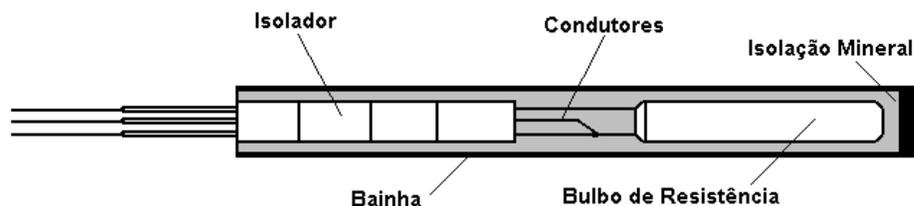
#### 4.3 - CARACTERÍSTICAS DA TERMORESISTÊNCIA DE PLATINA

As termoresistências Pt - 100 são as mais utilizadas industrialmente, devido a sua grande estabilidade, larga faixa de utilização e alta precisão. Devido à alta estabilidade das termoresistências de platina, as mesmas são utilizadas como padrão de temperatura na faixa de  $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A estabilidade é um fator de grande importância na indústria, pois é a capacidade do sensor manter e reproduzir suas características (resistência - temperatura) dentro da faixa especificada de operação.

Outro fator importante num sensor Pt 100 é a repetibilidade, que é a característica de confiabilidade da termoresistência. Repetibilidade deve ser medida com leitura de temperaturas consecutivas, verificando-se a variação encontrada quando de medição novamente na mesma temperatura.

O tempo de resposta é importante em aplicações onde a temperatura do meio em que se realiza a medição está sujeito a mudanças bruscas.

Considera-se constante de tempo como tempo necessário para o sensor reagir a uma mudança de temperatura e atingir 63,2 % da variação da temperatura.



Na montagem tipo isolamento mineral, tem-se o sensor montado em um tubo metálico com uma extremidade fechada e preenchido todos os espaços com óxido de magnésio, permitindo uma boa troca térmica e protegendo o sensor de choques mecânicos. A ligação do bulbo é feita com fios de cobre, prata ou níquel isolados entre si, sendo a extremidade aberta, selada com resina epóxi, vedando o sensor do ambiente em que vai atuar.

Este tipo de montagem permite a redução do diâmetro e apresenta rápida velocidade de resposta.

#### 4.4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS

Vantagens:

- Possuem maior precisão dentro da faixa de utilização do que outros tipos de sensores.
- Com ligação adequada não existe limitação para distância de operação.
- Dispensa utilização de fiação especial para ligação.
- Se adequadamente protegido, permite utilização em qualquer ambiente.

- e) Têm boas características de reprodutibilidade.
- f) Em alguns casos substitui o termopar com grande vantagem.

Desvantagens:

- a) São mais caras do que os sensores utilizados nessa mesma faixa.
- b) Deterioram-se com mais facilidades, caso haja excesso na sua temperatura máxima de utilização.
- c) Temperatura máxima de utilização 850 °C.
- d) É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura equilibrada para indicar corretamente.
- e) Alto tempo de resposta.

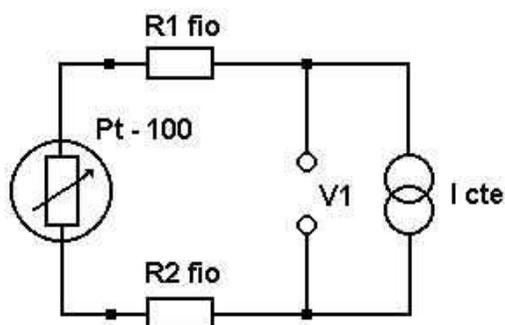
#### 4.5 - PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

Antigamente a medição da temperatura com as termoresistências eram normalmente feitas por um circuito do tipo Ponte de Wheatstone. Atualmente, devido ao grande avanço tecnológico da eletrônica, principalmente dos microprocessadores, a medição de temperatura com as termoresistências sofreram muitas modificações. Basta a medição de um ou dois níveis de tensão, para podermos determinar a temperatura do processo. A seguir mostraremos os circuitos mais utilizados.

##### 4.5.1 - Ligação a 2 fios

Este tipo de configuração fornece uma ligação para cada extremidade da termoresistência. É a maneira mais simples de se ligar uma termoresistência, porém é a menos exata, pois o valor das resistências R1 e R2 dos fios de ligação são adicionados ao valor de resistência da Pt-100. Normalmente este tipo de ligação é utilizado onde a termoresistência fica a menos de 10 m de distância do instrumento de medição.

Como podemos ver na figura abaixo, medindo o valor de V1, podemos determinar o valor da temperatura do processo, utilizando circuitos eletrônicos microprocessados.



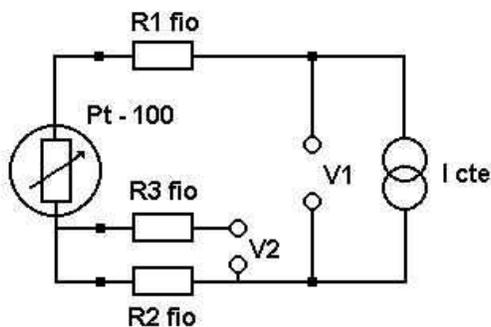
$$V1 = I \text{ cte. } \times ( 2R \text{ fio } + R \text{ Pt-100 } ) \rightarrow \text{Temperatura}$$

Concluindo, neste tipo de medição a 2 fios, sempre que a temperatura ambiente ao longo dos fios de ligação variar, a leitura de temperatura do medidor introduzirá um erro, devido à variação da resistência de linha, caso a distância entre o sensor e o instrumento seja grande. Nos manuais dos fornecedores de termoresistências existem tabelas que determinam a distância máxima a ser utilizada em função da bitola do fio utilizado.

##### 4.5.2- Ligação a 3 fios

Este é o método mais utilizado para termoresistências na indústria. Este tipo de configuração fornece uma ligação numa extremidade da termoresistência e duas na outra extremidade.

Como podemos observar na figura abaixo, medindo-se o valor de V1 e subtraindo do valor de 2 x V2, conseguimos através de um circuito eletrônico microprocessado definir o valor da temperatura do processo.



$$V1 = I \text{ cte. } \times (2R \text{ fio} + R \text{ Pt-100})$$

$$V2 = I \text{ cte. } \times R2$$

$$V1 - (2 \times V2) \rightarrow \text{Temperatura}$$

Concluindo, neste tipo de ligação a medição de temperatura do processo não sofre a influência da variação da temperatura ambiente ao longo dos fios, portanto, não há limites de distância entre a termorresistência e o instrumento de medição.

## 5- MEDIÇÃO DE TEMPERATURA POR RADIAÇÃO

Ao se medirem temperaturas em que o contato físico com o meio é impossível ou impraticável, faz-se uso da pirometria óptica ou de radiação térmica.

Um corpo aquecido emite energia mesmo que esteja no vácuo. Esta energia, a radiação térmica, é transportada por ondas eletromagnéticas, como a energia luminosa, mas com predominância de frequências bem menores que as do espectro visível, enquanto o corpo está à temperatura não muito elevada.

À medida que se aquece um corpo, a partir de temperaturas da ordem de 500 °C, o corpo começa a ficar visível porque começa a emitir radiações que tem uma fração apreciável com frequência de luz: o espectro visível.

Ainda assim a maior parte da intensidade da radiação tem frequência localizada na região do infravermelho.

Se pudéssemos aquecer indefinidamente o corpo, ele passaria do rubro para o branco e para o azul, Isto indica que a predominância da intensidade de radiação emitida dentro do espectro visível corresponde a frequências crescentes à medida que a temperatura do corpo é elevada.

### 5.1 – RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

#### 5.1.1 – Hipóteses de Maxwell

Os trabalhos científicos de Coulomb, Ampère, Faraday e outros estabeleceram os princípios da Eletricidade. Na década de 1860, o físico escocês Maxwell desenvolveu uma teoria matemática, na qual generalizou estes princípios.

Considerando que na indução eletromagnética um campo magnético variável induz uma força eletromotriz, o que é característico de um campo elétrico, Maxwell apresentou as seguintes hipóteses:

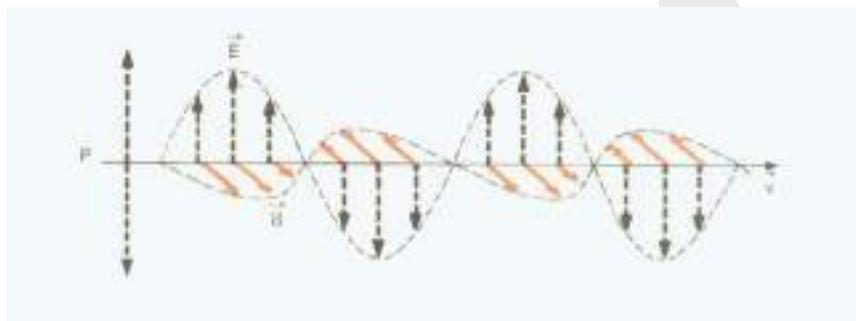
- 1 – Um campo magnético variável é equivalente, nos seus efeitos, a um campo elétrico e inversamente,
- 2 – Um campo elétrico variável é equivalente, nos seus efeitos, a um campo magnético.

Com essas hipóteses, Maxwell generalizou, matematicamente, os princípios da Eletricidade. A verificação experimental de sua teoria só foi possível quando se considerou um novo tipo de onda, as chamadas ondas eletromagnéticas. Essas ondas surgem como consequência de dois efeitos: um campo magnético variável produz um campo elétrico, e um campo elétrico variável produz um campo magnético. Esses dois campos em constantes e recíprocas induções propagam-se pelo espaço.

### 5.1.2 - Ondas eletromagnéticas

As ondas ocorrem quando uma perturbação originada em uma região pode ser reproduzida nas regiões adjacentes em um instante posterior.

De acordo com Maxwell, se em um ponto P produzimos um campo elétrico variável E, ele induzirá um campo magnético B variável com o tempo e com a distância ao ponto P. Além disso, o vetor B variável induzirá um vetor E, que também varia com o tempo e com a distância do campo magnético variável. Esta indução recíproca de campos magnéticos e elétricos, variáveis com o tempo e com a distância, torna possível a propagação desta seqüência de induções através do espaço.



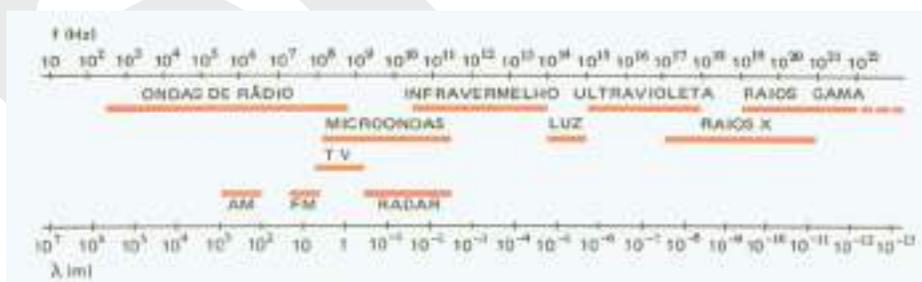
Propagação das Ondas Eletromagnéticas no espaço

Portanto, uma perturbação elétrica no ponto P, devida à oscilação de cargas elétricas por exemplo, se propaga a pontos distantes através da mútua formação de campos elétricos e magnéticos variáveis. Maxwell estabeleceu equações para a propagação desta perturbação, mostrando que ela apresentava todas as características de uma onda: refletindo, refratando, difratando e interferindo. Por isto, denominou-a ondas ou radiações eletromagnéticas.

### 5.1.3 – Espectro eletromagnético

Hoje, sabemos que existe uma variação ampla e contínua nos comprimentos de onda e freqüência das ondas eletromagnéticas.

No quadro abaixo, temos um resumo dos diversos tipos de ondas eletromagnéticas, chamado espectro eletromagnético; as freqüências estão em hertz e os comprimentos de onda, em metros.



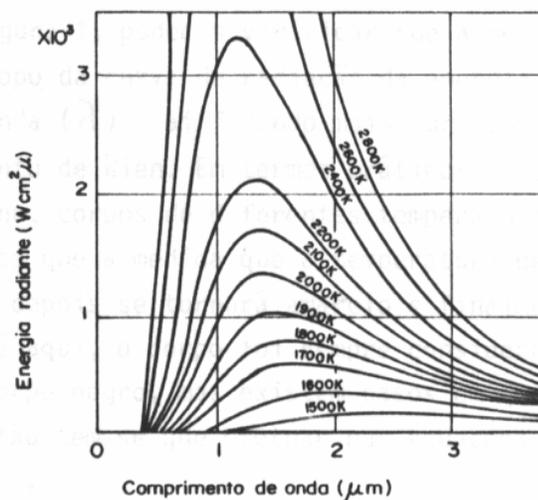
Espectro eletromagnético

Analisando esse quadro, observamos que luz, ondas de rádio e raios X são nomes dados a certas faixas de freqüência e comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Cada nome caracteriza uma faixa, na qual as ondas são emitidas e recebidas de um modo determinado. Por exemplo, a luz, de comprimentos de onda em torno de  $10^{-6}$  m, pode ser percebida através de seu efeito sobre a retina, provocando a sensação de visão; mas, para detectar ondas de rádio, cujo comprimento de onda varia em torno de  $10^5$  m a  $10^{-1}$  m, precisamos de equipamentos eletrônicos.

## 5.2 - TEORIA DA MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO

Em 1860, Gustav Kirchoff demonstrou a lei que estabelecia a igualdade entre a capacidade de um corpo em absorver e emitir energia radiante. Essa lei é fundamental na teoria da transferência de calor por radiação. Kirchoff também propôs o termo "corpo negro" para designar um objeto que absorve toda a energia radiante que sobre ele incide.

Tal objeto, em consequência, seria um excelente emissor.



Em 1879, Joel Stefan enunciou, a partir de resultados experimentais, a lei que relaciona a radiância de um corpo com a sua temperatura. A radiância,  $W$ , é a potência da radiação térmica emitida, por unidade de área da superfície do corpo emissor. Ludwig Boltzmann chegou, em 1884, às mesmas conclusões através da termodinâmica clássica, o que resultou na chamada Lei de Stefan-Boltzmann:

$$W = \varepsilon \cdot \delta \cdot T^4$$

Onde

$W$  = energia radiante ( Watts/m<sup>2</sup>)

$\delta$  = Constante de Stefan-Boltzmann [ $5,7 \times 10^{-8} \text{ x (W x K}^4\text{)}/\text{m}^2$ ]

$T$  = Temperatura absoluta

$\varepsilon$  = Emissividade

Para o corpo negro a máxima emissividade é igual a um. Portanto:

$$W = \delta \cdot T^4$$

Embora o corpo negro seja uma idealização, existem certos corpos como laca preta, placas ásperas de aço, placas de asbesto, com poder de absorção e de emissão de radiação térmica tão altos que podem ser considerados idênticos ao corpo negro.

O corpo negro é considerado, portanto, um padrão com o qual são comparadas as emissões dos corpos reais.

Quando, sobre um corpo qualquer ocorrer à incidência de irradiação, teremos uma divisão dessa energia em três parcelas:

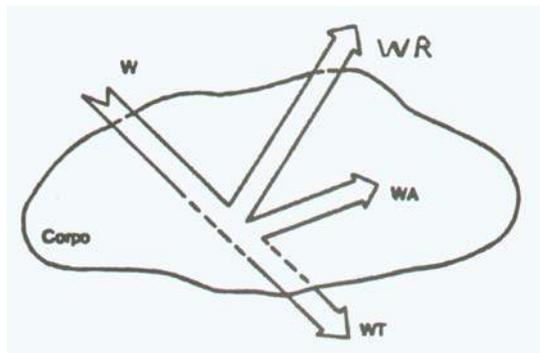
$$W = WA + WR + WT$$

Onde

W = energia Incidente  
 WA = energia absorvida  
 WR = energia refletida  
 WT = energia transmitida

Sendo:

- Absorvidade :  $\alpha = \frac{WA}{W}$
- Refletividade :  $\delta = \frac{WR}{W}$
- Transmissividade :  $\tau = \frac{WT}{W}$



Somando-se os três coeficientes para um mesmo comprimento de onda temos:

$$\alpha + \delta + \tau = 1$$

Para materiais opacos,  $\tau = 0$ .

Normalmente a absorvidade é denominada "emissividade" que simbolizaremos por  $\epsilon$ , e é influenciada por vários fatores. Os principais são:

- a) Acabamento superficial: as superfícies polidas têm uma baixa absorvidade porque a refletividade é alta.
- b) Natureza do material.
- c) Temperatura da superfície: quando esta aumenta a emissividade também aumenta.

De acordo com Lei de Kirchoff existe uma igualdade entre a capacidade de um corpo em absorver a energia incidente e sua capacidade de remiti-la. Chama-se a esta última de "emissividade", a qual pode ser assim definida:

"A emissividade é a relação entre a energia irradiada, em um dado comprimento de onda, por um corpo qualquer e um corpo negro à mesma temperatura".

$$\epsilon = \frac{W(\text{corpo qualquer})}{W(\text{corpo negro})}$$

Assim definida, a emissividade assume sempre valores entre 0 e 1, sendo numericamente iguais à fração de radiação absorvida pelo corpo. Considerando a radiação térmica emitida pelo corpo negro, como composta de ondas eletromagnéticas e obtido experimentalmente o seu espectro em função da temperatura, estava constituído o desafio aos físicos teóricos: explicar este espectro a partir de sua causa microscópica.

Uma onda eletromagnética de rádio ou televisão é emitida por uma antena que essencialmente se constitui de cargas oscilantes, isto é, um oscilador eletromagnético. No caso da radiação emitida por um corpo "as antenas" eram consideradas os osciladores microscópicos provenientes da oscilação de cargas moleculares devido à vibração térmica no interior do corpo. Num sólido, a uma determinada temperatura, as diversas moléculas oscilariam nas diversas frequências, emitindo a radiação com o espectro estudado.

Em 1901, o físico alemão Max Planck publicou os resultados do seu estudo da radiação térmica, onde satisfazia todos os requisitos conceituais experimentais da radiação do corpo negro.

### 5.3 - PIRÔMETROS ÓPTICOS

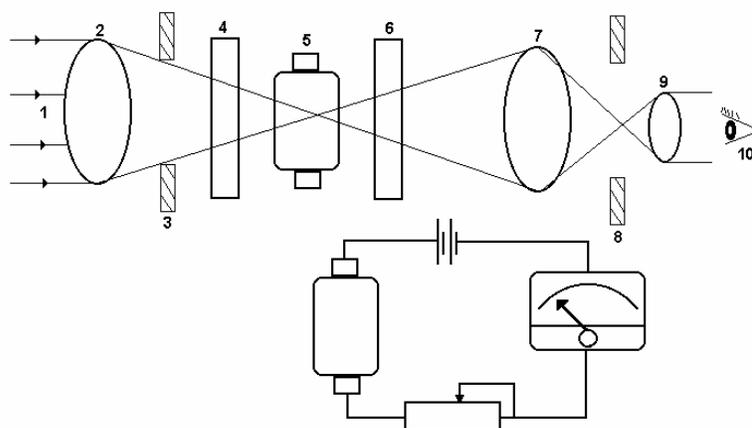
O pirômetro óptico é o dispositivo oficial reconhecido internacionalmente para medir temperaturas acima de 1064,43 °C. É usado para estabelecer a Escala Internacional Prática de Temperatura acima de 1064,43 °C.

O pirômetro óptico mede a intensidade de energia radiante emitida numa faixa estreita do comprimento de onda do espectro visível. A intensidade da luz no espectro visível emitida por um objeto quente varia rapidamente com sua temperatura. Assim, com uma pequena variação da temperatura há uma variação muito maior na luminosidade, o que fornece um meio natural para a determinação de temperaturas com boa precisão.

O pirômetro óptico é um instrumento com o qual a luminosidade desconhecida de um objeto é medida comparando-a com a luminosidade conhecida de uma fonte padrão. Os pirômetros utilizam dois métodos para comparação:

- Variando a intensidade da luz emitida por uma lâmpada padrão ( corrente que passa através do filamento ) até atingir o mesmo brilho da fonte.
- Variando a luminosidade aparente do corpo quente através de dispositivos ópticos enquanto uma corrente constante atravessa o filamento da lâmpada padrão que permanece com brilho constante.

A comparação do brilho entre a fonte a ser medida e o filamento da lâmpada é feita por um observador, o que faz com que essa medida dependa, portanto, da sensibilidade do olho humano às diferenças no brilho entre duas fontes da mesma cor.



Ao considerar-se uma aplicação deve-se levar em conta os seguintes dados:

- Os limites normais de utilização estão entre 750 °C e 2850 °C. Com filtros de absorção especiais, pode-se estender sua calibração até 5500 °C.
- As medidas efetuadas com pirômetros ópticos são independentes da distância entre a fonte e o aparelho, além de que são providos de um conjunto de lentes que aproxima o objetivo a ser medido.
- Em uso industrial, consegue-se uma precisão de até  $\pm 2\%$ .
- Devido à medida de temperatura ser baseada na emissividade da luz ( brilho ), erros significativos podem ser criados, devido à reflexão de luz ambiente pela fonte a ser medida.
- Quando o meio onde se executa a medida possui partículas em suspensão, causando assim uma diminuição da intensidade da luz proveniente da fonte, diminuindo a precisão da medição.

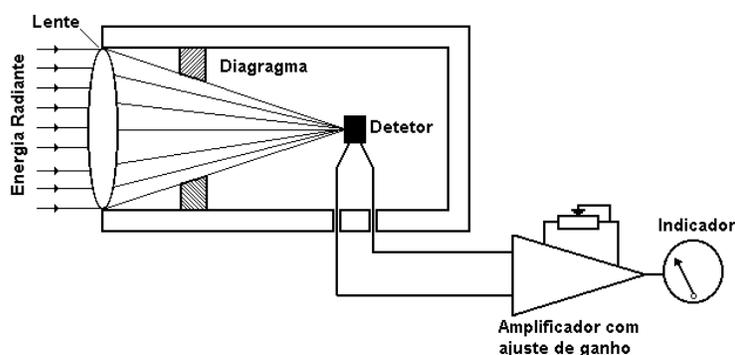
## 5.4 - RADIÔMETRO OU PIRÔMETROS DE RADIAÇÃO

Os radiômetros ( ou pirômetros de radiação ) operam essencialmente segundo a lei de Stefan-Boltzmann. São os sistemas mais simples, neles a radiação é coletada por um arranjo óptico fixo e dirigida a um detetor do tipo termopilha (associação em série - ver figura abaixo) ou do tipo semiconductor nos mais modernos, onde gera um sinal elétrico no caso da termopilha ou altera o sinal elétrico no caso do semiconductor.

Como não possuem mecanismo de varredura próprio, o deslocamento do campo de visão instantâneo é realizado pela movimentação do instrumento como um todo. Os radiômetros são em geral portáteis, mas podem ser empregados também no controle de processos a partir de montagens mecânicas fixas ou móveis.

Graças à utilização de microprocessadores, os resultados das medições podem ser memorizados para o cálculo de temperaturas e seleção de valores.

A apresentação dos resultados é normalmente feita através de mostradores analógicos e digitais, podendo ainda ser impressa em papel ou gravada em fita magnética para posterior análise. Alguns radiômetros são diretamente conectados com unidades de controle ou registradores através de interface analógica/digital.

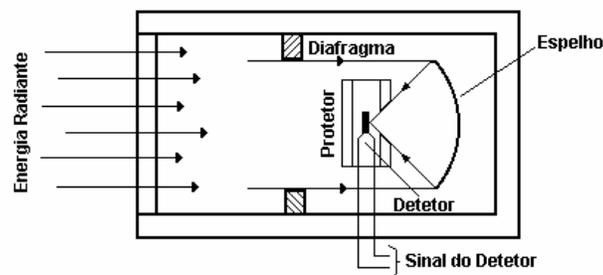


Os radiômetros são usados industrialmente onde:

- As temperaturas estão acima da faixa de operação prática dos termopares.
- A atmosfera do processo for prejudicial aos pares termoeletrônicos, causando medidas falsas e pequena durabilidade ao par.
- No interior de fornalhas a vácuo ou pressão, onde os sensores de temperatura danificam o produto.
- O objeto cuja temperatura se vai medir está em movimento.
- Em locais onde os termopares não podem ser instalados, por causa de vibrações, choques mecânicos ou impossibilidade de montagem.

Ao considerar-se uma aplicação deve-se levar em conta os seguintes dados:

- A temperatura do alvo e a temperatura normal de operação.
- O sinal de saída é independente da distância do alvo, desde que o campo de visão do sistema óptico esteja preenchido totalmente pelo mesmo.
- O material da fonte e sua emitância.
- Ângulos de visada com aplicações em corpo não negro ( deve restringir o ângulo para uma visada de 45°, ou menos, da perpendicular ).
- As condições do ambiente, temperatura e poeira.
- Velocidade do alvo.

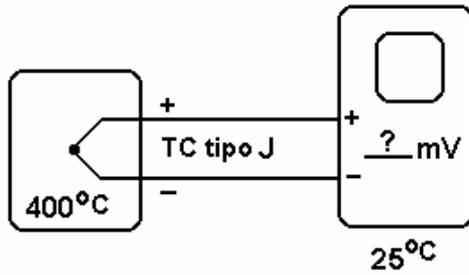


Os radiômetros operam numa faixa entre  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $4000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , respondendo em 0,1 ou 0,2 segundo a 98% da mudança de temperatura com precisão de  $\pm 1\%$  da faixa medida.

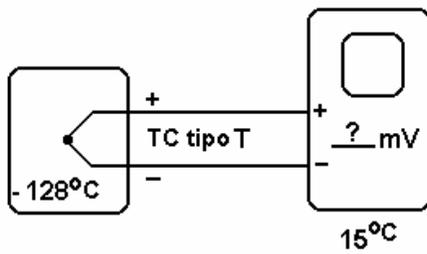
## 6 - EXERCÍCIOS:

1 - Determine os valores pedidos nos esquemas abaixo:

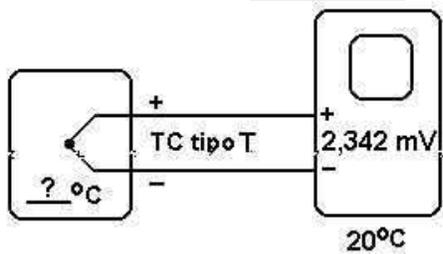
a)



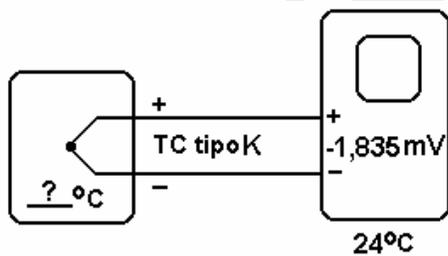
b)



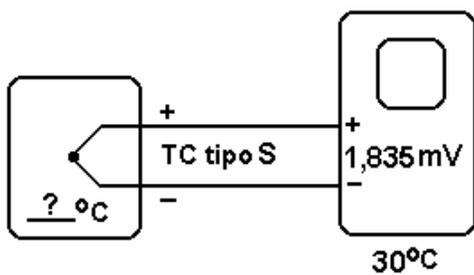
c)



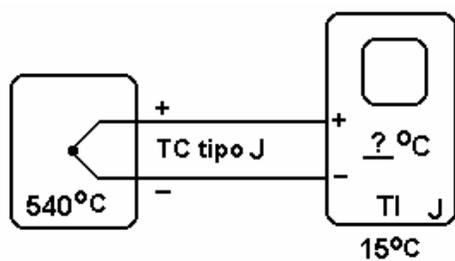
d)



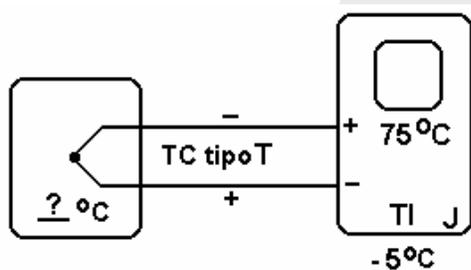
e)



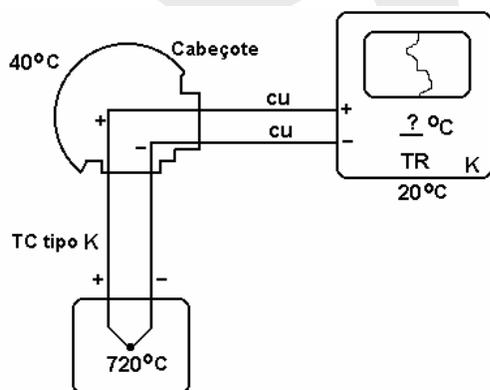
f)



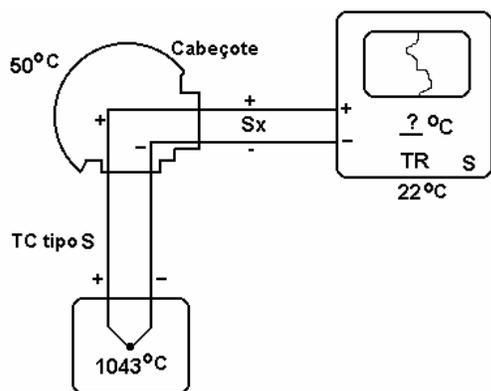
g)



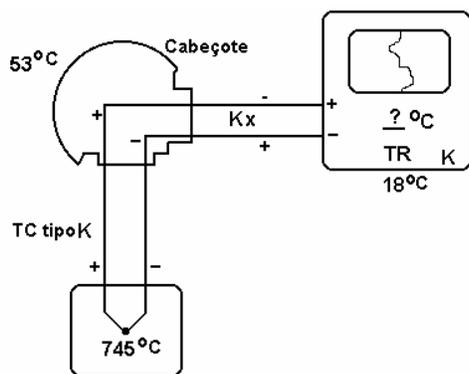
h)



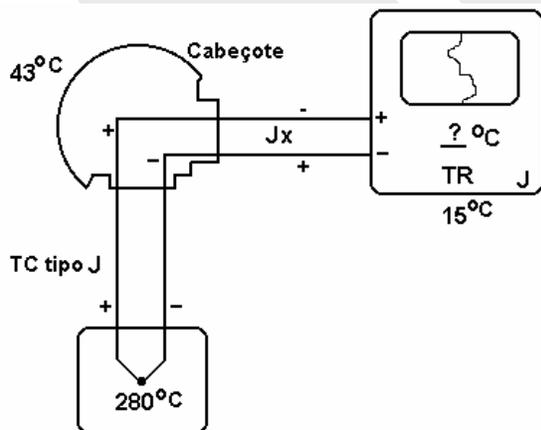
i)



j)



k)



smar

## **CAPÍTULO 8: ELEMENTOS FINAIS DE CONTROLE**

### **1 - DEFINIÇÃO**

### **2 - VÁLVULAS DE CONTROLE**

#### **2.1 - PARTES PRINCIPAIS DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE**

#### **2.2 - ATUADOR**

#### **2.3 - CORPO**

### **3 - VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO LINEAR DA HASTE**

#### **3.1- VÁLVULAS GLOBO**

##### **3.1.1 - VÁLVULAS GLOBO SEDE SIMPLES**

##### **3.1.2 - VÁLVULA GLOBO SEDE DUPLA**

#### **3.2 - VÁLVULA GLOBO TIPO GAIOLA**

##### **3.2.1 - VÁLVULA GLOBO TIPO GAIOLA SEDE SIMPLES**

##### **3.2.2 - VÁLVULA GLOBO TIPO GAIOLA BALANCEADA**

#### **3.3 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO DIAFRAGMA OU SAUNDERS**

#### **3.4 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO GUILHOTINA**

### **4 - VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO ROTATIVO DA HASTE**

#### **4.1 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO BORBOLETA**

#### **4.2 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO ESFERA**

#### **4.3 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO OBTURADOR ROTATIVO - EXCÊNTRICO**

### **5. INTERNOS DAS VÁLVULAS**

#### **5.1 - OBTURADOR**

##### **5.1.1 - TIPOS DE OBTURADORES**

##### **5.1.2 - OBTURADORES TORNEADOS**

##### **5.1.3 - OBTURADORES COM ENTALHES EM “V”**

##### **5.1.4 - OBTURADORES SIMPLES ESTRIADOS OU PERFILADOS**

##### **5.1.5 - OBTURADORES DE ABERTURA RÁPIDA**

##### **5.1.6 - OBTURADORES COM DISCO OU O-RING**

#### **5.2 - OBTURADORES TIPO GAIOLA**

#### **5.3 - ANEL DE SEDE**

### **6 - CASTELO**

#### **6.1 - TIPOS PRINCIPAIS**

#### **6.2 - CASTELO NORMAL**

#### **6.3 - CASTELO ALETADO**

#### **6.4 - CASTELO A LONGADO**

#### **6.5 - CASTELO COM FOLE**

### **7 - CAIXA DE GAXETAS**

### **8 - GAXETAS**

#### **8.1 - TEFLON ( TFE )**

#### **8.2 - AMIANTO IMPREGNADO**

### **9 - CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO**

#### **9.1 - INTRODUÇÃO**

#### **9.2 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO**

#### **9.3 - ALCANCE DE FAIXA DA VÁLVULA**

9.4 - CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO INERENTES

9.5 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO INSTALADA DAS VÁLVULAS DE CONTROLE

## **10 - COEFICIENTE DE VAZÃO ( CV )**

11 – POSICIONADORES

11.1 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO POSICIONADOR EM VÁLVULAS

11.2 - LIMITAÇÕES DO USO DO POSICIONADOR

11.2.1 – EXEMPLO DE POSICIONADOR PNEUMÁTICO

11.2.2 – EXEMPLO DE POSICIONADOR ELETROPNEUMÁTICO

11.3 - POSICIONADOR INTELIGENTE

11.3.1- VANTAGENS DO POSICIONADOR INTELIGENTE

## **12 - EXERCÍCIOS**

## 1 - ELEMENTOS FINAIS DE CONTROLE

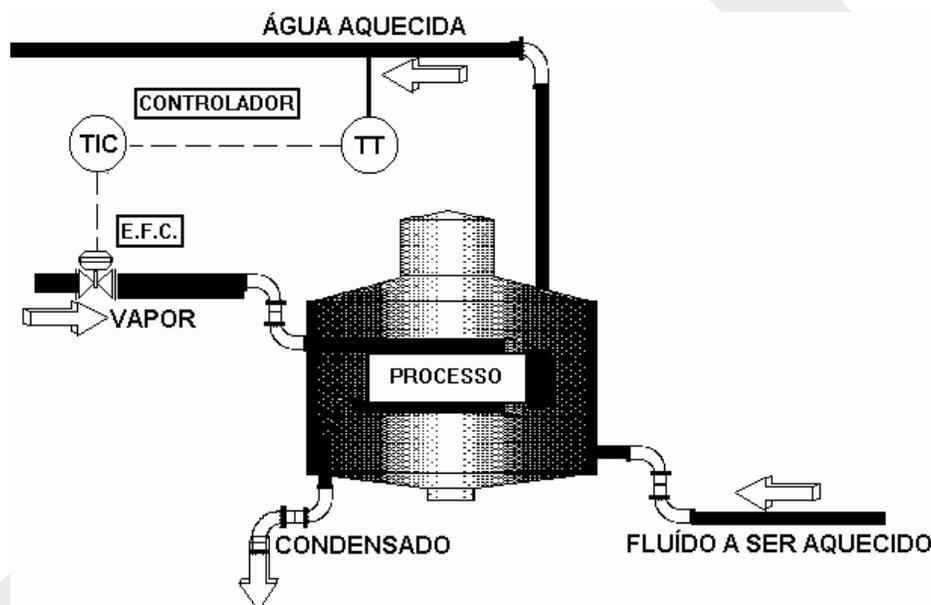
### 1.1 - DEFINIÇÃO

É um mecanismo que varia a quantidade de energia ou material (agente de controle), em resposta ao sinal enviado pelo controlador, a fim de manter a variável controlada em um valor (ou faixa de valores) pré-determinado.

A **válvula de controle** é o **elemento final** mais usado nos sistemas de controle industrial. Em sistemas de controle para gases e ar é também usado o “damper”, porém poderemos citar outros elementos, tais como: bombas, resistências elétricas, motores, etc.

Como o controlador, o elemento final de controle pode ser operado por meios elétricos, pneumáticos e mecânicos.

A posição do elemento final de controle (EFC) na cadeia automática de controle é mostrada na figura abaixo.



## 2 – VÁLVULAS DE CONTROLE

A válvula de controle desempenha um papel muito importante no controle automático de modernas indústrias, que dependem da correta distribuição e controle de fluidos líquidos e gasosos. Tais controles sejam para trocas de energia, redução de pressão ou simplesmente para encher um reservatório, dependem de algum tipo de **elemento final de controle** para fazer esse serviço.

Os elementos finais de controle podem ser considerados como o “músculo” do controle automático. Eles fornecem a necessária amplificação de forças entre os baixos níveis de energia, fornecidos pelos controladores, e os maiores níveis de energia necessários para desempenho de suas funções de fluidos.

A válvula de controle é o elemento final de controle mais utilizado. Outros tipos de elementos finais de controle podem ser bombas dosadoras, dampers e louvers (variação de válvula borboleta), hélice de passo variável, motores elétricos para posicionamento de equipamentos que não sejam válvulas, etc.

Apesar de largamente utilizada, provavelmente não exista outro elemento qualquer no sistema de controle, que receba menor parcela de atenção. Em muitos sistemas, a válvula de controle é mais sujeita a severas condições de pressão, temperatura, corrosão e contaminação do que qualquer outro componente, e ainda assim, deve trabalhar satisfatoriamente com um mínimo de atenção. Uma válvula de controle funciona como uma resistência variável na tubulação, e é definida por alguns autores, como sendo um orifício de dimensões variáveis.

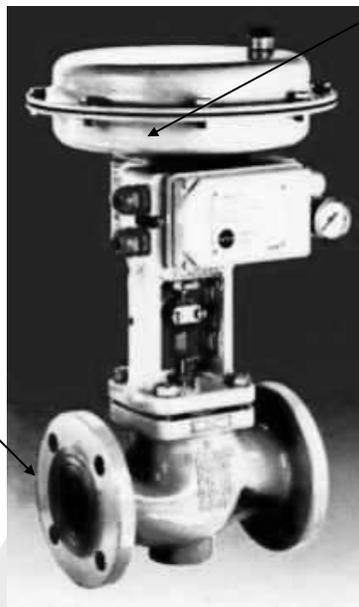
## 2.1 - PARTES PRINCIPAIS DE UMA VÁLVULA DE CONTROLE

Uma válvula de controle consiste basicamente de dois conjuntos principais:

⇒ Corpo

e

⇒ Atuador

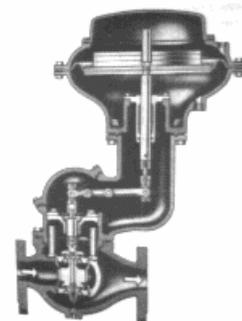
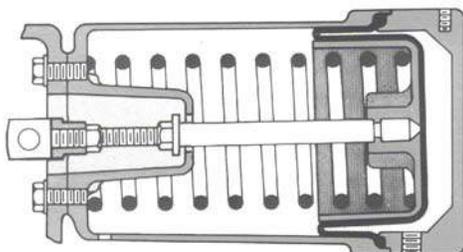


## 2.2 - ATUADOR

Constitui-se no elemento responsável em proporcionar a força motriz necessária ao funcionamento da válvula de controle. Sendo parte integrante do sistema de controle, ele quando corretamente selecionado, deve proporcionar à válvula meios de operacionalidade estáveis e suaves, contra a ação variável das forças dinâmicas e estáticas originadas na válvula através da ação do fluido de processo.

Dependendo basicamente do meio de produção da força motriz, o atuador utilizado em aplicações de controle modulado, classifica-se em cinco tipos principais:

- Pneumático à mola e diafragma;
- Pneumático a pistão;
- Elétrico;
- Elétrico - hidráulico e
- Hidráulico.



## 2.3 - CORPO

É a parte da válvula que executa a ação de controle permitindo maior ou menor passagem do fluido no seu interior, conforme a necessidade do processo. O conjunto do corpo divide-se basicamente nos seguintes subconjuntos:

1. internos
2. castelo
3. flanges inferiores.

Nem todos os tipos de válvulas possuem obrigatoriamente o seu conjunto do corpo formado por todos os sub - componentes acima mencionados. Em alguns tipos de válvulas, corpo e castelo formam um só peça denominada de apenas corpo; em outros nem existem os flanges inferiores.

Porém, vamos por ora desconsiderar tais particularidades, optando por um conceito mais global, para posteriormente irmos restringindo-o à medida que formos analisando cada tipo de válvula de controle.

Sendo o conjunto do corpo, a parte de válvula que entra em contato direto com o fluido, deve satisfazer os requisitos de pressão, temperatura e corrosão do fluido.

Os tipos de válvulas classificam-se em função dos respectivos tipos de corpos, e portanto, quando estivermos falando de tipos de válvulas sub - entenderemos tipos de corpos.

Podemos agrupar os principais tipos de válvulas em dois grupos:

- |                             |   |   |
|-----------------------------|---|---|
| a) de deslocamento Linear   | } | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Globo Convencional;</li> <li>2) Globo Três Vias;</li> <li>3) Globo Gaiola;</li> <li>4) Globo Angular;</li> <li>5) Diafragma;</li> <li>6) Bipartido e</li> <li>7) Guilhotina.</li> </ol> |
| b) de deslocamento rotativo | } | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Borboleta;</li> <li>2) Esfera e</li> <li>3) Obturador Excêntrico</li> </ol>   |

## 3 - VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO LINEAR DA HASTE

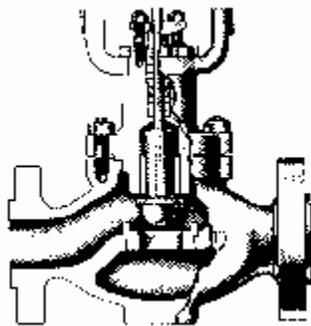
Define-se por válvula de deslocamento linear, a válvula na qual a peça móvel vedante descreve, um movimento retilíneo, acionada por uma haste deslizante.

Para cada tipo de processo ou fluido sempre temos pelo menos um tipo de válvula que satisfaça os requisitos técnicos de processo, independente da consideração econômica. Cada um desses tipos de válvulas possuem as suas vantagens, desvantagens e limitações para este ou aquele processo.

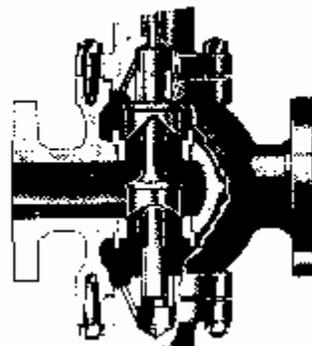
### 3.1 - VÁLVULAS GLOBO

Válvula de deslocamento linear, corpo de duas vias, com formato globular, de passagem reta, internos de sede simples ou de sede dupla. É a que tem maior uso na indústria e o termo globo é oriundo de sua forma, aproximadamente esférica.

É do tipo de deslocamento de haste e a sua conexão com a linha pode ser através de flanges rosca ou solda. Ela será de sede simples ou dupla, de acordo com o número de orifícios que possua para a passagem do fluido.



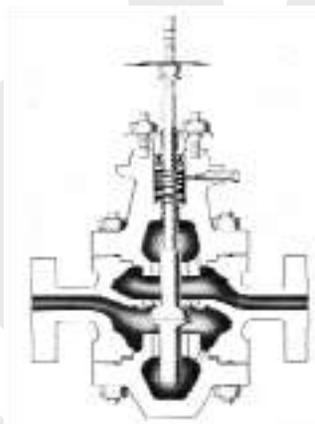
Válvula globo sede simples



Válvula globo sede dupla

### 3.1.1 - Válvulas Globo Sede Simples

Uma válvula globo sede simples reversível é mostrada a seguir. O obturador é guiado na base, no topo e/ou em sua saia e sua montagem faz com que a válvula feche ao descer a haste.



Este estilo de corpo é chamado reversível porque poderemos montá-lo utilizando exatamente as mesmas peças. O tipo de ação mais desejável para uma aplicação específica é determinado pelos outros elementos da cadeia de controle e sobretudo pela possibilidade de perda de potência do atuador (falta de ar, por exemplo). Este tipo de corpo é fabricado em tamanhos de 1/2" até 12" e em valores de pressão ASA de 600 psi. Valores de pressão de 900 a 1.500 psi são fabricados em tamanhos menores.

Possuem menor custo de fabricação, fácil manutenção, operação simples e fecham com pouco ou nenhum vazamento, por possuírem obturador estaticamente não balanceado são classificadas como classe IV ou seja ocasionam um vazamento quando a válvula totalmente fechada da ordem de 0,01% da sua capacidade de vazão máxima.

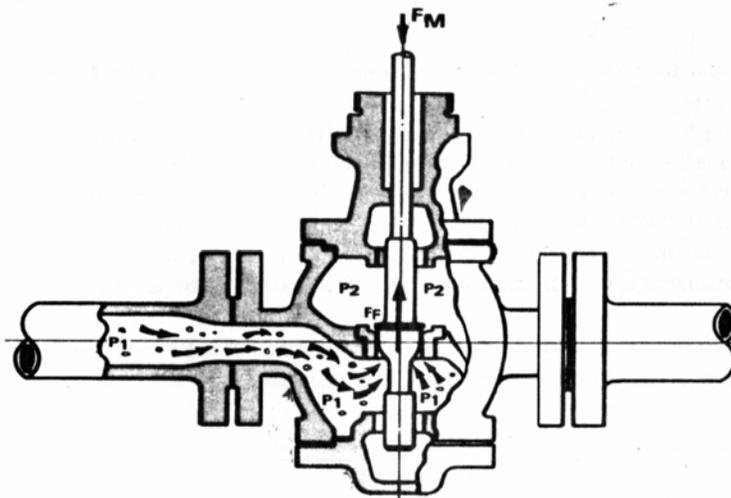
Seu inconveniente é que mais força é necessário para o atuador posicionar o obturador, este fato se deve por ser uma válvula cujo obturador não é balanceado. A força que atua sobre o obturador quando a válvula está fechada é dada pelo **produto da área total do orifício pela Pressão Diferencial através da válvula**.

Sempre que possível, as válvulas de sede simples devem ser instaladas de tal forma que a vazão tende a abrir. Isto resulta em operações suave e silenciosa, com máxima capacidade. Quando a válvula de sede simples é instalada de forma que a vazão tende a fechar a válvula, é possível o martelamento da sede pelo obturador fenômeno conhecido como "CHATTERING", se a força de desequilíbrio é relativamente alta em comparação com a força de posicionamento do obturador. É possível existir condições que obriguem a instalação de válvulas com sedes simples e cuja vazão tende a fechar.

Tais instalações de válvulas com orifícios maiores que 1" e com atuadores pneumáticos trabalhando com altas quedas de pressão, devem ser feitas com cuidado. Válvulas com orifícios menores que 1" de diâmetro podem usualmente trabalhar com vazão em qualquer direção.

Válvula de sede simples, com guia do obturador somente no topo, são usadas para orifício de 1" e menores. Ela fornece guias adequadas para pequenos diâmetros e permite que o fluido se escoe mais facilmente pelo orifício.

A figura a seguir mostra a atuação das forças dinâmicas provenientes do fluido agindo contra o obturador de uma válvula Globo sede simples.



Estando a válvula totalmente fechada e portanto  $P_2 = 0$ , a **pressão diferencial** através dela é  $\Delta P = P_1 - P_2 = P_1$ . Essa pressão diferencial, que é igual à pressão diferencial  $\Delta P_{MAX}$ , dado de principal importância na seleção de uma válvula e no dimensionamento do atuador.

Neste caso, o atuador produzindo uma força  $F_M$  dirigida de cima para baixo, transmite-a através da haste para o obturador. Por outro lado, a pressão  $P_1$  do fluido contra o obturador (que bloqueia a sede de diâmetro  $D_S$ ) produz uma força  $F_F$  para cima em sentido contrário à  $F_M$  do atuador. Para termos um funcionamento correto da válvula,  $F_M$  tem que ser suficientemente maior que  $F_F$ , ou seja :

$$\begin{aligned} F_M (\downarrow) &> F_F (\uparrow) & F_M (\downarrow) &> (P_1 - P_2) (A_S - A_H) \\ F_M (\downarrow) &> (\Delta P) (A_S - A_H) & F_M (\downarrow) &> (P_1 - 0) (A_S - A_H) \\ F_M (\downarrow) &> (P_1) \pi/4 (D_S - D_H) & & \\ F_M (\downarrow) &> 0,7854 (D_S - D_H) & & \\ F_M (\downarrow) &> 0,7854 \cdot P_1 \cdot D^2 & & \end{aligned}$$

Onde  $D^2 = D_S - D_H$  = diâmetro de passagem

A força  $F_M$  deve ser suficientemente maior que a  $F_F$ , pois há outras forças envolvidas, como por exemplo, a força da mola do atuador que é contrária a  $F_M$ , a força proveniente do atrito nas gaxetas e outras.

O índice de vazamento definido anteriormente é para válvulas de fabricação normal, ou seja, com assento **metal - metal**. Contudo podemos atingir um índice de menor vazamento (sem aumentar a força de assentamento do atuador), utilizando a construção de assentamento composto, ou seja, **metal - borracha**, **metal - teflon**, etc.

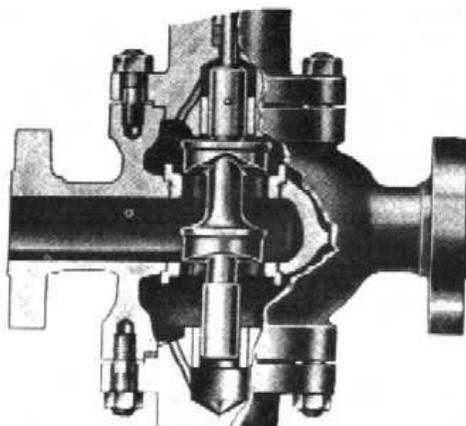
Este tipo de construção, muitas vezes ainda designado pelo seu nome em inglês, "**soft - seat**".

Obtemos desta forma um índice de vazamento praticamente nulo (da ordem de algumas bolhas de ar por minuto). Por exemplo numa válvula de 2" admite-se como permissível um vazamento de 3 bolhas de ar por minuto ou  $0,40 \text{ cm}^3 / \text{min}$ .

### 3.1.2 - Válvula Globo Sede Dupla

É provavelmente mais usada que a de sede simples. Ela foi desenvolvida para atender a necessidade de uma válvula que poderia ser posicionada com força relativamente pequena do atuador.

Uma válvula globo reversível de sede dupla é mostrada a seguir. Se as 2 sedes forem do mesmo diâmetro, as pressões que atuam no obturador serão equilibradas na posição fechada e teoricamente pouca força será requerida para abrir e fechar a válvula. Na realidade, os orifícios são construídos com 1/16" a 1/8" um maior que o outro, no diâmetro. Esta construção é chamada "semi-balanceada" e é usada para possibilitar que o obturador menor passe através do orifício maior na montagem.



É fabricada normalmente em diâmetros de 3/4" a 14", e com conexões das extremidades rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas, nas classes 150,300,600,900 e 1.500 lbs.

A principal vantagem da válvula sede dupla é o fato dela ser estaticamente quase estável sem necessitar, portanto, de uma força de atuação tão grande quanto a válvula sede simples.

Como desvantagem, apresentam um vazamento, quando totalmente fechadas de no máximo 0,5% da sua máxima capacidade de vazão, conforme norma ANSI B16.104 a válvula tipo **standard**, possui um índice de vazamento **Classe II**.

O fato deste vazamento ser maior que na sede simples se deve a dois fatores:

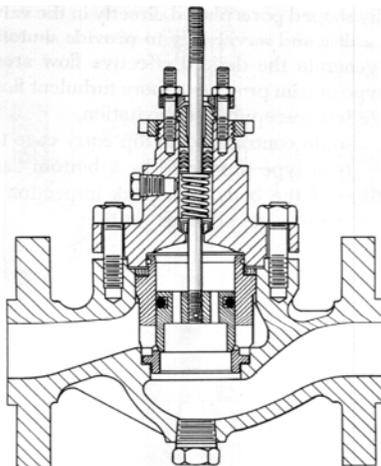
- Por ser semibalanceada, um pequeno esforço é suficiente para deslocar a haste de qualquer posição ( nesse caso, tal facilidade pode surgir como desvantagem ).
- Devido ao fato de ser impossível fechar os dois orifícios simultaneamente, principalmente em casos de fluídos suficientemente quentes para produzir uma dilatação volumétrica desigual no obturador.

### 3.2 - VÁLVULA GLOBO TIPO GAIOLA

Válvula de concepção antiga onde possui seus internos substancialmente diferente da globo convencional. O amplo sucesso deste estilo de válvula está totalmente fundamentado nos seguintes aspectos:

- facilidade de remoção das partes internas, pela ausência de rosca o que facilita bastante a operação na própria instalação;
- alta estabilidade de operação proporcionada pelo exclusivo sistema de guia do obturador;
- capacidade de vazão da ordem de **20 a 30%** maior que a globo convencional;
- menor peso das partes internas, resultando assim um menor vibração horizontal conseqüentemente menor ruído de origem mecânica do que as válvulas globo duplamente guiadas;
- não possuindo flange inferior a válvula é algo mais leve que as globo convencionais.

Por não possuir flange inferior, seu corpo não pode ser reversível, e assim a montagem dos seus internos é do tipo **entra por cima**. A drenagem do fluido quando necessária, pode ser realizada através da parte inferior do corpo, por meio de um tampão rosqueado.

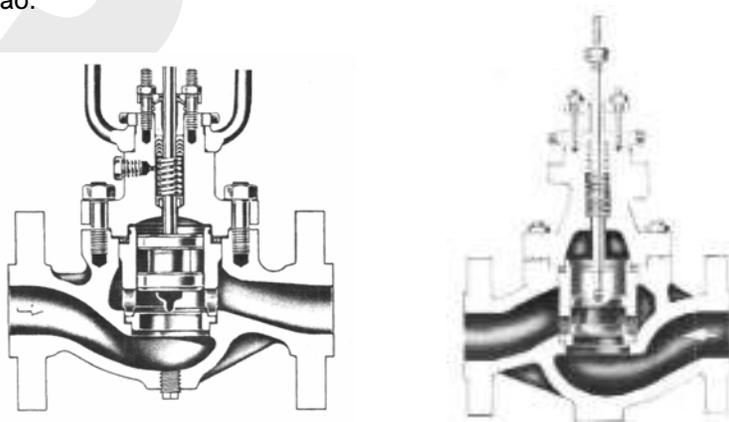


Alguns tipos de válvulas:

- Sede Simples;
- Balanceada;
- Micro Fluxo;
- Angular Sede Simples;
- Angular Balanceada;
- Duplo estágio e
- Baixo ruído.

### 3.2.1 - Válvula Globo Tipo Gaiola Sede Simples

Neste tipo de válvula o fluido entra por baixo do anel da sede, passando pelo orifício e pelas janelas da gaiola. Apresenta apenas guia na gaiola, trata-se de um tipo não balanceado como a globo convencional, pois a força do fluido tende a abrir a válvula, não é balanceada e por isso apresenta o mesmo inconveniente de precisar de uma grande força de atuação.



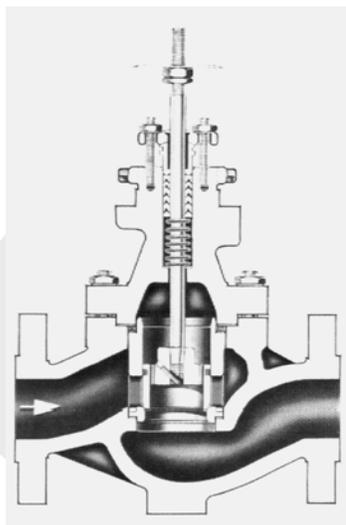
**Válvula Gaiola Sede Simples Não Balanceada**

Apresenta um vazamento de 0,01% da sua máxima capacidade de vazão, quando totalmente fechada, enquadrada na Classe IV. Fabricada em diâmetros de 1/2" até 6" nas classes de 150, 300 e 600 lbs. As conexões das extremidades podem ser rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas.

### 3.2.2 - Válvula Globo Tipo Gaiola Balanceada

Neste tipo de válvula o obturador é balanceado dinamicamente, devido ao orifício interno no obturador, que faz com a pressão do fluido comunique-se com ambos os lados do obturador, formando-se assim um balanceamento de forças de atuação neste caso do que no anterior sede simples. O fluido neste tipo de válvula entra por cima e não apresenta uma boa vedação, permitindo um vazamento de até 0,5% da máxima capacidade de vazão, estando a mesma classificada na **Classe II**.

Fabricada em diâmetros de 3/4" até 6" nas classes 150, 300 e 600 lbs, podendo suas conexões ser rosqueadas (até 2"), flangeadas ou soldadas.



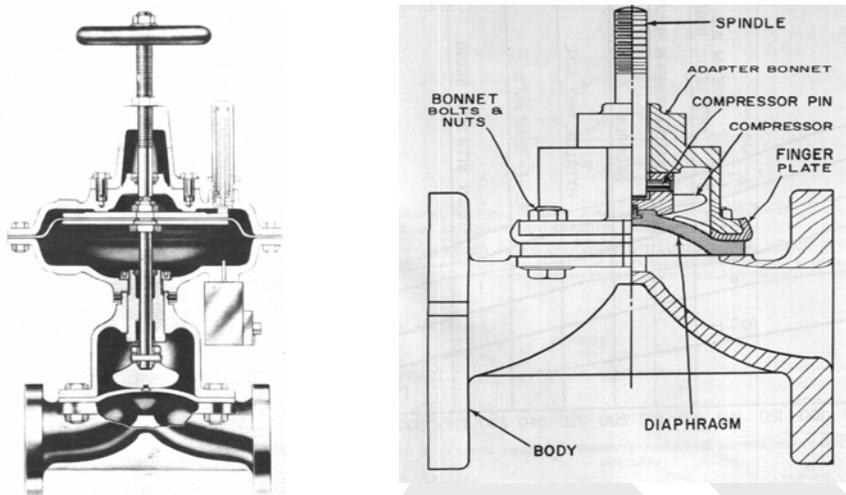
Válvula Gaiola Sede Simples Balanceada

### 3.3 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO DIAFRAGMA OU SAUNDERS

Este tipo de válvula, cuja configuração é totalmente diferente das outras válvulas de controle, é utilizada no controle de fluidos corrosivos, líquidos altamente viscosos e líquidos com sólidos em suspensão. A válvula de controle tipo diafragma consiste de um corpo em cuja parte central apresenta um encosto sobre o qual um diafragma móvel, preso entre o corpo e o castelo, se desloca para provocar o fechamento. Possui como vantagem um baixo custo, total estanqueidade quando fechada, já que o assento é composto por um diafragma de borracha, e facilidade de manutenção.

Como desvantagem não apresenta uma boa característica de vazão para controle, além de uma alta e não uniforme força de atuação que faz com que praticamente este tipo de válvula seja limitado em diâmetros de até 6" para efeito de aplicação em controle modelado.

Outra desvantagem é que devido ao material do seu obturador (diafragma de neoprene ou Teflon), a sua utilização é limitada pela temperatura do fluido em função do material do diafragma.



**Válvula Tipo Diafragma**

### 3.4 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO GUILHOTINA

Trate-se de uma válvula originalmente projetada para a indústria de papel e celulose, porém, hoje em dia a sua aplicação tem atingido algumas outras aplicações em indústrias químicas, petroquímicas, açucareiras, abastecimentos de água, etc.



Contudo, a sua principal aplicação continua sendo em controle biestável com fluídos pastosos, tais como massa de papel.

Fabricada em diâmetros de 2" até 24" com conexões sem flanges para ser instalada entre par de flanges da tubulação.

### 4 - VÁLVULAS DE DESLOCAMENTO ROTATIVO DA HASTE

Nos últimos anos tem-se notado um substancial aumento no uso das válvulas denominadas de rotativas. Basicamente estes tipos de válvulas apresentam vantagens e desvantagens. Nas vantagens podemos considerar baixo peso em relação aos outros tipos de válvula, desenho simples, capacidade relativa maior de fluxo, custo inicial mais baixo, etc.

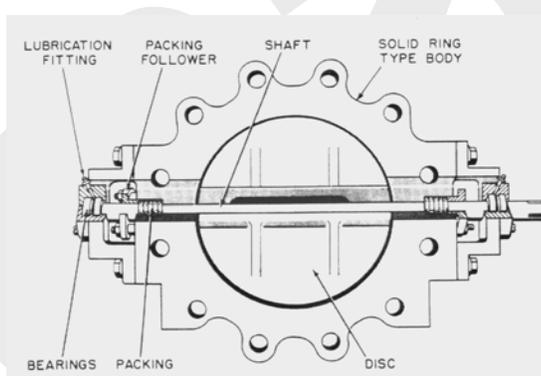
Dentre as desvantagens citamos a limitações em diâmetros inferiores a 1" ou 2" e quedas de pressão limitadas principalmente em grandes diâmetros.

#### 4.1 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO BORBOLETA

Válvula de deslocamento rotativo, corpo de duas vias de passagem retas, com internos de sede simples e elemento vedante constituídos por um disco ou lâmina de formato circular acionados por eixo de rotação axial. São muito usadas em tamanhos maiores que 3" e são fabricadas em tamanhos tão pequenos quanto 1". A válvula borboleta consiste de um corpo cilíndrico com um disco solidário a um eixo instalado perpendicularmente ao eixo do cilindro. O corpo cilíndrico pode ser flangeado em ambas as extremidades ou fabricado na forma de um anel sólido. Este último tipo é instalado em uma tubulação entre 2 flanges.

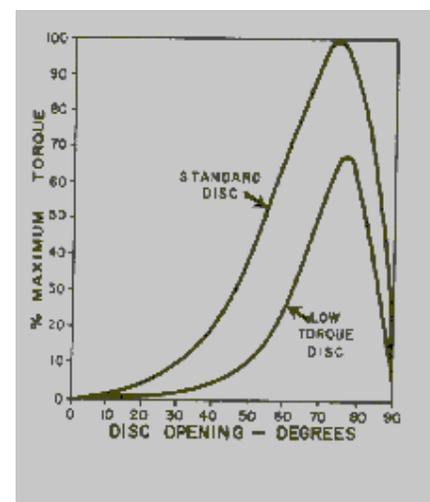


Quando as válvulas borboletas são atuadas por atuadores convencionais pneumáticos, o movimento alternativo da haste é usualmente transformado em movimento rotativo através de um simples jogo de alavancas.



Válvulas borboletas têm grande capacidade, pois o diâmetro do furo do cilindro é usualmente o diâmetro interno da tubulação na qual estão instaladas e a única obstrução é o disco. Em tamanhos grandes elas são mais econômicas do que as válvulas globo. Sua aplicação, entretanto, é limitada pelo fato de requerer força considerável para sua operação em altas pressões diferenciais. Sua característica de vazão não é adequada para algumas aplicações.

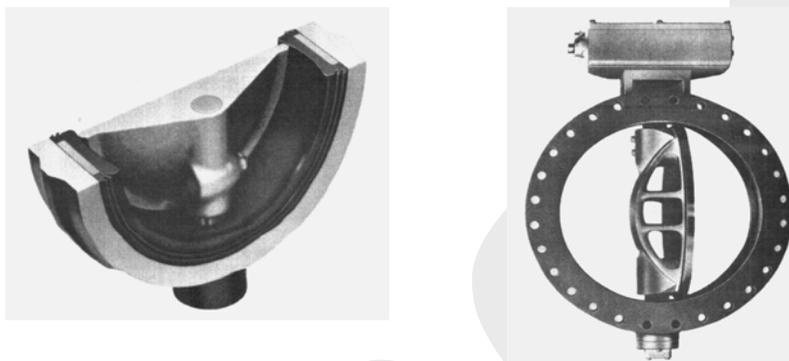
As forças de torção no eixo de uma válvula borboleta aumentam com o abrir da válvula, atingindo um valor máximo em um ponto entre 70 a 75° a partir de uma perpendicular à linha, após a qual tende a diminuir.



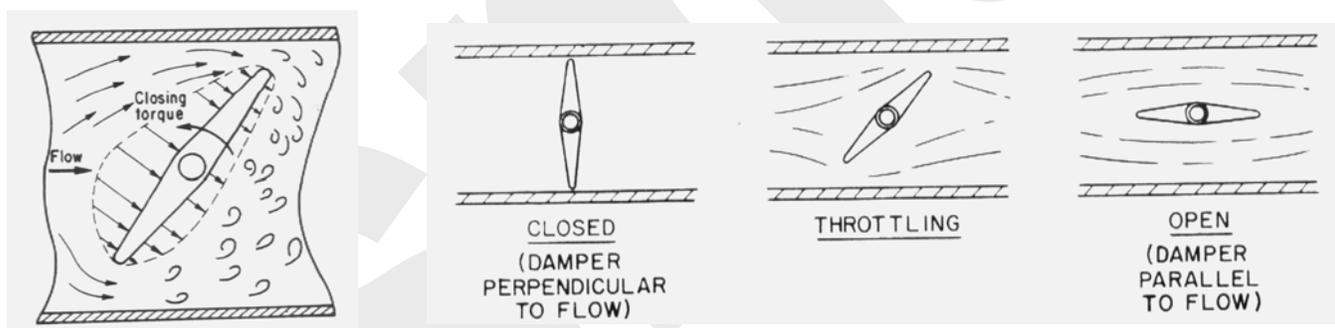
**Gráfico de Torque x Abertura da Válvula Borboleta**

Para maior estabilidade na operação de estrangulamento, a válvula borboleta não é aberta a um ângulo superior àquele em que a curva muda sua inclinação. Isto limita a abertura máxima em cerca de  $75^\circ$  da vertical. Alguns fornecedores fabricam a válvula de tal maneira que haja o fechamento total do disco com  $15^\circ$  da perpendicular. Isto resulta em uma rotação efetiva de  $60^\circ$ , que é o recomendado. O vazamento normal para uma válvula com disco e sede de metais e em torno de 0,5 a 1% da capacidade total. Sedes de elastômeros dão fechamento estanque.

Entretanto devem ser aplicadas com cuidado em serviços de estrangulamento com atuadores pneumáticos de diafragmas, desde que elas tenham a tendência de emperrar na posição fechada.



**Tipos de Assentamento das válvulas Borboletas**

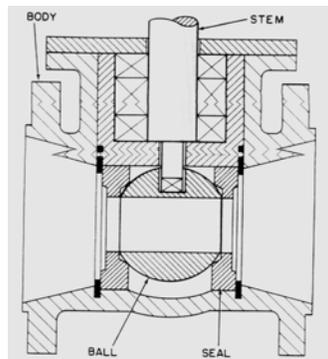
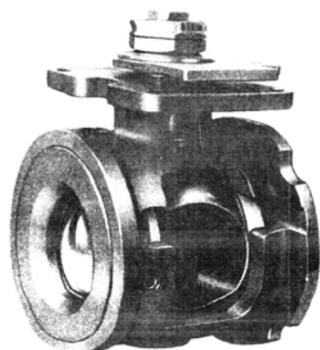


**Resistência ao Fluxo, na válvula Borboleta**

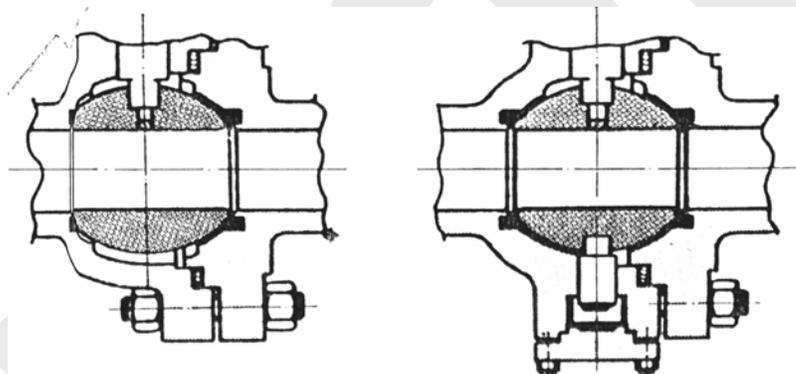
## 4.2 - VÁLVULA DE CONTROLE ESFERA

Inicialmente a válvula de controle tipo esfera encontrou a sua principal aplicação na indústria de papel e celulose, face às características fibrosas de determinados fluídos nesse tipo de processo industrial. Porém a sua utilização tem apresentado uma crescente introdução em outros tipos de processos, tanto assim que é recomendado para trabalhar com líquidos viscosos, corrosivos e abrasivos além de gases e vapores.

Devido ao seu sistema de assentamento, proporciona uma vedação estanque, constituindo-se numa das poucas válvulas de controle que além de possuir ótimas condições de desempenho de sua principal função, (isto é, prover uma adequada ação de controle modulado) permite, ainda uma total estanqüidade quando totalmente fechada.



O corpo da válvula é do tipo bipartido (para possibilitar a montagem dos internos), sendo que a esfera gira em torno de dois anéis de Teflon ( construção padrão ) alojados no corpo e que fazem a função de sede. Possibilita a passagem do fluido em qualquer direção sem problemas dinâmicos, e possui um curso total de 90°.



**Tipos de guia do obturador na válvula esfera**

O seu castelo é integral ao corpo e até 6" é guiada superiormente e na sede; de 8" em diante a guia é superior e inferior e nas sedes.

A válvula esfera é a de todas a de maior capacidade de fluxo, devido a sua passagem ser praticamente livre sem restrições. Em relação ao tipo globo, chega a alcançar de 3 a 4 vezes maior a vazão.

Este tipo de válvula apresenta, (assim como também a válvula borboleta), em função da característica geométrica dos seus internos, uma alta tendência a cavitarem e a atingir condições de fluxo crítico à relativos menores diferenças de pressão do que os outros tipos de válvulas.

**OBSERVAÇÃO: Cavitação** é a transformação de parte do líquido em vapor durante uma rápida aceleração deste através do orifício da válvula, e o subsequente retorno das bolhas de vapor à condição líquida.

Dinamicamente, as forças provenientes do fluido tendem sempre a fechar a válvula e, portanto é uma válvula não balanceada, da mesma forma que acontece à válvula borboleta.

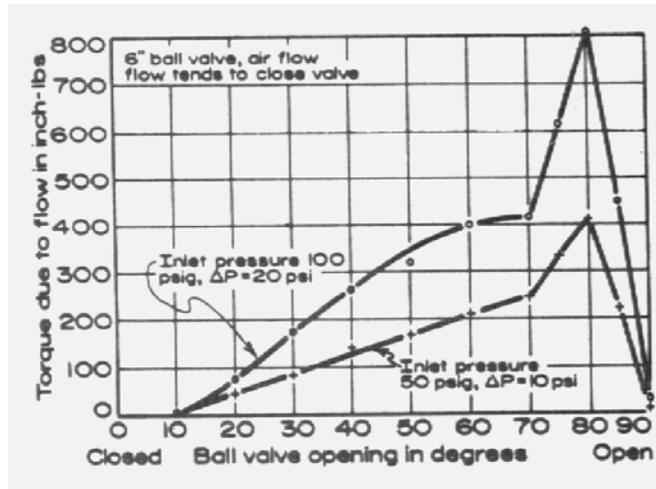
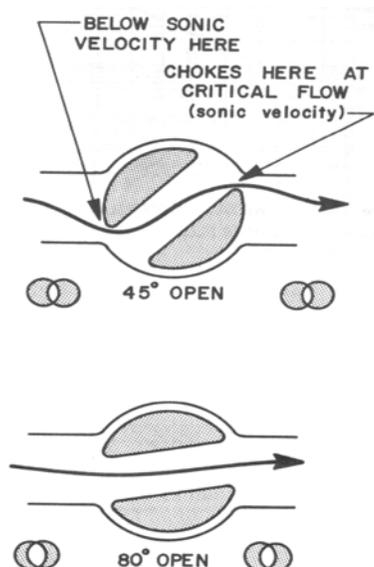
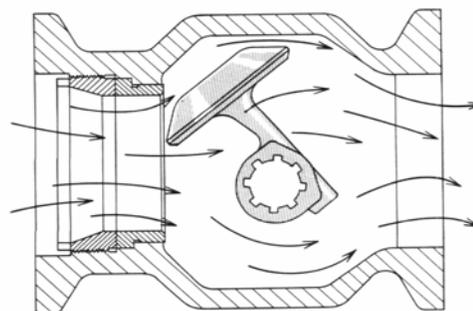
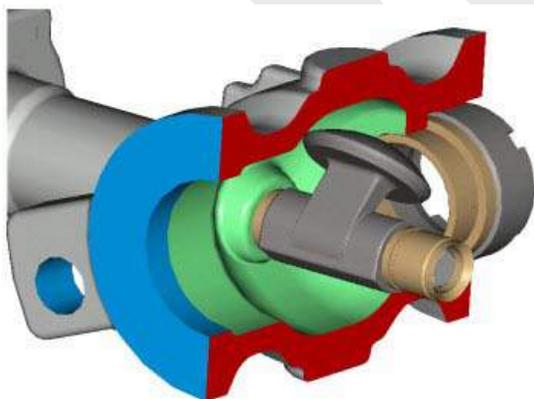


Gráfico do torque x abertura da válvula tipo esfera

#### 4.3 - VÁLVULA DE CONTROLE TIPO OBTURADOR ROTATIVO - EXCÊNTRICO

Idealizada originalmente para, basicamente, qualquer aplicação de processo, tem mostrado realmente vantagens em apenas alguns processos industriais, tais como papel e celulose e de forma genérica trata-se de uma válvula recomendada para aplicações de utilidades, ou auxiliar. Possui corpo, com extremidade sem flanges, classe 600 lbs, sendo fabricada em diâmetros de 1" até 12". O curso do obturador é de 50° em movimento excêntrico da parte esférica do obturador. Tal particularidade de movimento excêntrico possibilita-lhe uma redução do torque de atuação permitindo uma operação mais estável com o fluido entrando na válvula em qualquer sentido.



Válvula Tipo Obturador Rotativo Excêntrico

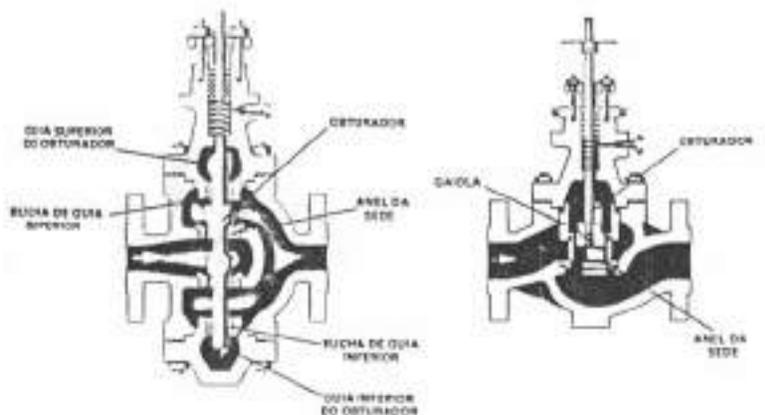
Apresenta, quando totalmente fechada, um índice de vazamento de 0,01% da sua máxima capacidade de fluxo, sendo uma válvula de nível de vazamento **Classe IV** conforme a ANSI B16.104.

O obturador possui guia dupla possibilitando, desta forma, uma resistência menor à passagem de fluxo do que a apresentada em outros tipos de válvulas de desenho semelhante.

## 5. INTERNOS DAS VÁLVULAS

Normalmente costuma-se definir ou representar os internos da válvula de controle como o coração da mesma.

Se considerarmos a função à qual se destina a válvula, realmente as partes denominadas de internos representam o papel principal da válvula de controle, ou seja, produzir uma restrição variável à passagem do fluido conforme a necessidade imposta pela ação corretiva do controlador produzindo assim, uma relação entre a vazão que passa e a abertura da válvula.



### 5.1 - OBTURADOR

Elemento vedante, com formato de disco, cilíndrico ou com contorno caracterizado, que se move linearmente no interior do corpo obturando o orifício de passagem de modo a formar restrição variável ao fluxo.

#### 5.1.1 - Tipos de Obturadores

Na válvula globo convencional, quer seja sede simples ou dupla o obturador é o elemento móvel da válvula que é posicionado pelo atuador da válvula para controlar a vazão. Em geral, a ação do obturador pode ser proporcional ou de 2 posições (on-off). Em controle proporcional, o obturador é posicionado em qualquer ponto intermediário entre aberto e fechado, sendo continuamente movido para regular a vazão de acordo com as necessidades do processo.

#### 5.1.2 - Obturadores Torneados

Obturadores duplos torneados devem ser guiados na base e no topo, enquanto válvulas de sede simples podem ser guiadas no topo e na base ou somente no topo.



Recomenda-se o uso de Obturadores torneados nos

seguintes casos:

- ⇒ Líquidos sujos ou abrasivos
- ⇒ Quando o fluido controlado forma incrustações no plug.

### 5.1.3 - Obturadores com entalhes em “ V ”

Desde que o obturador com entalhe em  $\nabla$  sólido, é projetado para sair inteiramente da sede, eles são feitos com guias na base e no topo. Eles podem ser simples ou duplos. Devido à sua conformação lateral existe uma grande área do obturador sempre em contato com a superfície interna da sede e que possibilita uma menor vazão inicial quanto o obturador torneado, que possui uma vazão inicial maior, quando comparado ao obturador em entalhe em  $\nabla$  sólido. Este último apresenta conseqüentemente, maior rangeabilidade.



Em tamanhos maiores ( 4” e maior ) os tipos com saia tendem a vibrar em altas freqüências quando sujeitos a altas velocidades de gás ou vapor. Esta vibração pode situar-se na faixa audível, produzindo assobio estridente e desagradável, ou pode ser supersônica. Em qualquer caso, a conseqüência final poderá ser a quebra das peças da válvula.

Para reduzir a tendência de vibração, costuma-se usar o obturador tipo sólido, entalhe em  $\nabla$ , que possui maior massa e mais rigidez. São as seguintes as razões para uso do obturador em entalhe em  $\nabla$ .

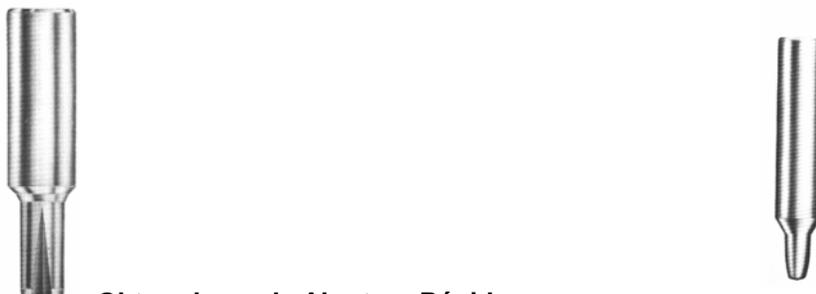
- ❶ É o que melhor satisfaz as condições de escoamento percentual que é a característica mais usada.
- ❷ Quando alta rangeabilidade é desejada, pois, este tipo de obturador proporciona vazão inicial menor.

#### Não deve ser usado

- ❶ Quando o fluido controlado é erosivo ou muito sujo. Os cantos vivos do corte em  $\nabla$  são atacados ou obstruídos, modificando a característica de controle.
- ❷ Quando o fluido controlado forma incrustações no obturador.

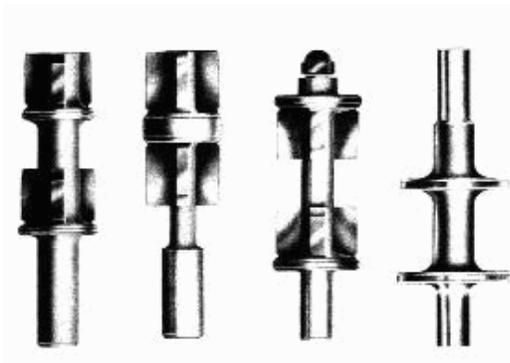
### 5.1.4 - Obturadores Simples Estriados ou Perfilados

Obturadores simples estriados ou perfilados com guia somente no topo são muito usados em orifícios com diâmetro de 1” ou menos.



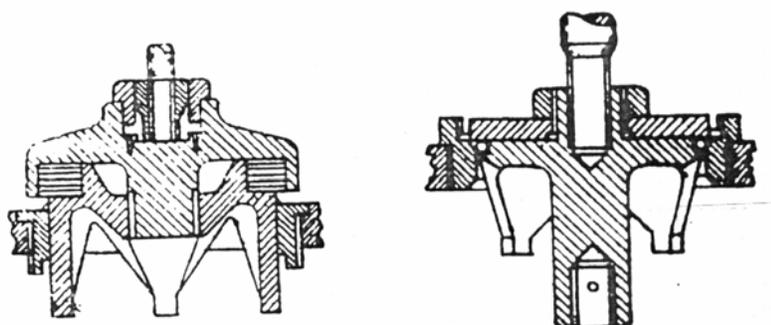
### 5.1.5 - Obturadores de Abertura Rápida

São usados em controle “ **Tudo ou Nada** “, para fechamento de emergência, descargas, etc. Podem eventualmente ser empregados em processos simples de alta sensibilidade ( faixa proporcional até 5% ), sem atraso de resposta, sob condições de carga e pressão estáveis e que exijam controle apenas entre 10 e 70% de abertura da válvula. Um processo com tal característica não é facilmente encontrado.



### 5.1.6 - Obturadores com Disco ou O-Ring

São usados em distribuição de gás dentro de uma indústria. São feitos, os discos, com borracha, Neoprene, Buna N, Silastic, Teflon, Kel F, Viton ou outro componente elástico e é fornecido com corpo de sede simples ou dupla, para controle proporcional ou tudo ou nada.



Estes tipos de obturadores não são adequados para quedas de pressões superiores a 150 psi e a borracha, Neoprene e Buna N, não são recomendados para temperatura acima de 65°C. Silastic, Teflon ou Kel-F podem ser usados satisfatoriamente para temperatura tão altas quanto 200°C. O Teflon e o Kel-F são resistentes à toda as corrosões químicas. Estes Obturadores possibilitam absoluta estanqueidade do miolo da válvula.

### 5.2 - OBTURADORES TIPO GAIOLA

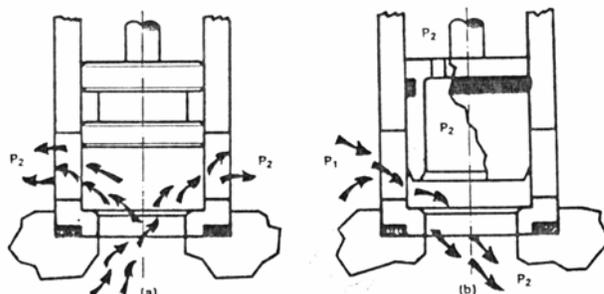
Os obturadores tipo gaiola, teve seu início de utilização por volta de 1940 em aplicações de alta pressão como no caso de produção de óleo e gás, alimentação de água de caldeira, etc...

Estando nos internos a única diferença entre as válvulas globo convencional e gaiola, o perfeito tipo de guia do obturador, em conjunto com a possibilidade de balanceamento das forças do fluido agindo sobre o obturador e uma distribuição uniforme do fluxo ao redor do obturador por meio do sistema de janelas, resulta nas 4 principais vantagens deste tipo de obturador:

- ❶ **Estabilidade de controle em qualquer pressão;**
- ❷ **Redução do esforço lateral e atrito;**
- ❸ **Possibilidade de estanqüidade de grandes vazões à altas pressões com atuadores normais;**

#### 4 Maior vida útil do chanfro da sede.

O desenho de gaiola caracterizada reduz a erosão separando a área de assentamento e de restrição ou controle fazendo assim com que a sede não esteja numa zona de alta velocidade do fluido.



Princípio de funcionamento da ação de controle (modulação e vedação) dos internos tipo gaiola :

- A- Sede Simples
- B- Balanceada

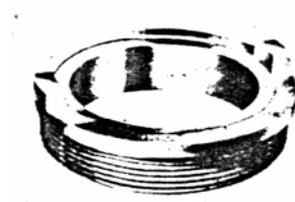
O funcionamento da restrição e modulação provida por este tipo de válvula, é mediante o sistema de gaiola, em cujo interior desloca-se o obturador, como se fosse um pistão de cilindro. A gaiola possui um determinado número de passagens ou janelas, as quais distribuem uniformemente o fluxo ao redor do obturador.

Tais janelas apresentam formatos caracterizados sendo elas, em conjunto com a posição relativa do obturador, que proporcionam a característica de vazão, ao invés de ser o formato do obturador como na globo convencional.



### 5.3 - ANEL DE SEDE

Anel circular montado no interior do corpo formando o orifício de passagem do fluxo.



Anel sede

### 6 - CASTELO

O castelo, geralmente uma parte separada do corpo da válvula que pode ser removida para dar acesso as partes internas das válvulas, é definido como sendo “ um conjunto que inclui, a parte através da qual a

*haste do obturador da válvula move-se, em um meio para produzir selagem contra vazamento através da haste* ".Ele proporciona também um meio para montagem do atuador.

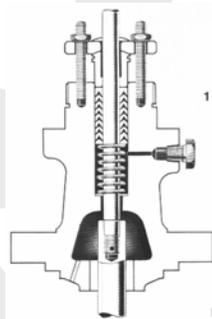
Normalmente o castelo é preso ao corpo por meio de conexões flangeadas e para casos de válvulas globo de pequeno porte, convencionou-se a utilização de castelo roscado devido ao fator econômico, em aplicações de utilidades gerais como ar, água, etc., como é o caso das denominadas válvulas de controle globo miniaturas.

## 6.1 - TIPOS PRINCIPAIS

- ⊙ Normal
- ⊙ Aletado
- ⊙ Alongado
- ⊙ Com foles

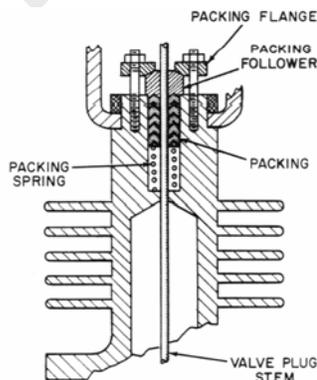
## 6.2 - CASTELO NORMAL

É o castelo padrão utilizado para as aplicações comuns nas quais a temperatura está entre -18 a 232°C. Esta limitação está imposta pelo material da gaxeta já que a sua localização está bem próxima do flange superior do corpo e, portanto bem próxima ao fluido.



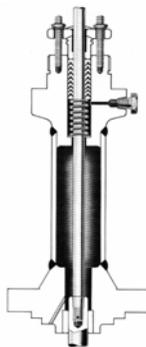
## 6.3 - CASTELO ALETADO

É usado quando a temperatura do fluido controlado é superior a 200°C. Deve ser suficiente para dar o abaixamento de temperatura indicado ou no máximo de 250°C de resfriamento. No caso da válvula operar vapores condensáveis o aletamento não reduzirá a temperatura abaixo do ponto de saturação do líquido, pois uma vez atingida esta temperatura haverá condensação de vapor e o líquido fluirá para a tubulação, sendo substituída por uma outra porção de vapor com temperatura mais elevada.



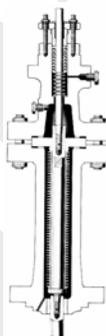
## 6.4 - CASTELO ALONGADO

São usados para prevenir o congelamento das gaxetas em aplicações de baixas temperaturas. Devem ser usadas para temperatura inferiores a 5°C e devem ser suficientemente longos para que a temperatura das gaxetas não vá abaixo de 25°C.



### 6.5 - CASTELO COM FOLE

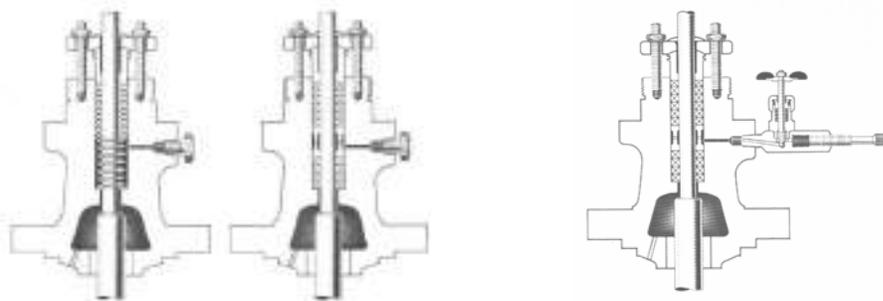
São usados para fluidos radiativos ou tóxicos, servindo como um reforço das gaxetas. O fole é normalmente feito de uma liga resistente à corrosão e devem ser soldados à haste da válvula. Este sistema é limitado a pressões de aproximadamente 600 psi.



### 7 - CAIXA DE GAXETAS

Construção contida no castelo que engloba os elementos de vedação da passagem do fluido para o exterior através do eixo. A finalidade principal desta parte é impedir que o fluido controlado passe para o exterior da válvula. Serve ainda como guia da haste. Em geral o castelo é ligado por flanges ao corpo da válvula, podendo, porém ser rosqueadas. O castelo flangeado é preferível, do ponto de vista de manutenção e segurança.

De qualquer forma o castelo rosqueado só é aceitável em válvulas de 1/2”.



Em válvulas com castelo flangeado, parafusos encastoados são aceitáveis até o padrão ASA 600 lbs. Para pressões maiores, parafusos passantes são recomendados.

A caixa de gaxetas deve comportar uma altura de gaxetas equivalente a seis vezes o diâmetro da haste. Estas gaxetas são apertadas por umas sobrepostas que poderá ser rosqueada ou flangeada.

Por motivos de segurança, a **sobreposta flangeada** é a **mais recomendada**, por permitir melhor distribuição de tensões sobre a haste e pelo perigo potencial que a sobreposta rosqueada oferece quando número insuficiente de fios está engajado.

## 8 - GAXETAS

Principais características do material utilizado para a gaxeta:

- devem ter elasticidade, para facilitar a deformação;
- produzir o mínimo atrito e
- deve ser de material adequado para resistir as condições de pressão, temperatura e corrosão do fluido de processo.

Os principais materiais de gaxetas são: **Teflon e amianto impregnado**.

### 8.1 - TEFLON

É o material mais amplamente utilizado devido as suas notáveis características de mínimo coeficiente de atrito, e de ser praticamente inerte quimicamente a qualquer fluido. Devido as suas características, a gaxeta de Teflon **não requer lubrificação** externa e a sua **principal limitação** é a **temperatura**. Conforme visto na tabela a seguir. A gaxeta de Teflon é formada de anéis em "V " de Teflon sólido, e **requer uma constante compressão** para o seu posicionamento firme e compacto, provido por meio de uma mola de compressão.

### 8.2 - AMIANTO IMPREGNADO

É ainda um material de gaxeta bastante popular devido às características adicionadas às de alguns aditivos e à facilidade de manutenção e operação. Não sendo auto-lubrificante, o amianto utiliza-se impregnado com aditivos tais como **Teflon, mica, Inconel, grafite, etc..** Os limites de uso em função da temperatura e fluídos para este tipo de gaxeta são dados na tabela a seguir. Este tipo de gaxeta é do tipo quadrada e comprimida por meio de prensa gaxeta. Requer lubrificação externa, com exceção ao amianto impregnado com Teflon.

Material da gaxeta	Serviço	Pressões	Lubrificação	Tipos de Castelo		
				Normal	Longo	Extralongo
Teflon	Limitado àqueles fluídos que não atacam o Teflon e aço inox tipo 3/6 ( material da mola da gaxeta)	Líquidos e Gases secos - 1500 psi  Vapor - 250 psi	Não	-18 à 232°C	-45 à 430°C	-268 à 430°C
Amianto c/ Teflon	Todo exceto Álcalis quente e ácido hidrofúorídrico quente	Líquidos e Gases secos - 6000 psi  Vapor - 250 psi	Opcional, porém recomendada	-18 à 232°C	-45 à 430°C	-268 à 430°C
Amianto Grafitado com fios de Inconel	Vapor ou Petróleo	Qualquer fluido - 6000 psi	Sim	-18 à 232°C	-45 à 540°C	-45 à 540°C

**Limites de Temperatura para os diversos materiais da gaxeta, em função do tipo de castelo.**

Recentemente surgiu um novo material de gaxeta denominado de **Grafoil**. Trata-se de material à base de grafite e comercializado em fitas flexíveis de vários tamanhos. É um material praticamente inerte quimicamente e suporta temperaturas altíssimas ( o ponto de volatilização é de 3650°C ). Seu único inconveniente reside no fato de que produz um certo travamento da haste, já que por ser fita, ela deve ser enrolada ao redor da haste e socada para compactá-la formando diversos anéis.

## 9 - CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO

### 9.1 - INTRODUÇÃO

A escolha da adequada **característica de vazão** de uma válvula de controle, em função da sua aplicação em um determinado processo, continua sendo um assunto não somente bastante complexo, como principalmente muito controvertido. Inúmeros trabalhos publicados por eminentes pesquisadores sobre o assunto não foram o suficiente para termos uma solução teórica, digna de total crédito. Os problemas a serem resolvidos são realmente complexos começando pelo próprio dilema de qual deve ser a fração da queda de pressão total do sistema que deve ser absorvida pela válvula de controle. E ainda, face às interferências instaladas no sistema, como a própria **tubulação, desvio, reduções, equipamentos, malha de controle, etc.**

O objetivo agora é o de definir diversos parâmetros principais, explicar as suas diferenças e dar algumas regras práticas que possam auxiliar na escolha da correta característica de vazão de uma válvula de controle.

Porém salientamos que a seleção da característica de vazão de uma válvula não é um problema apenas relativo à válvula, mas também ao **sistema de controle completo e instalação**.

### 9.2 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO

Como tivemos a oportunidade de observar no item referente aos internos da válvula, o obturador, conforme se desloca, produz uma área de passagem que possui uma determinada relação característica entre a fração do curso da válvula e a correspondente vazão que escoar através da mesma. A essa relação deu-se o nome de **característica de vazão** da válvula.

Por outro lado, sabemos também que, a vazão que escoar através de uma válvula varia com a pressão diferencial através dele e, portanto tal variação da pressão diferencial deve afetar a característica de vazão. Assim sendo, definem-se dois tipos de características de vazão:

- Inerente
- Instalada

A **característica de vazão inerente** é definida como sendo a relação existente entre a vazão que escoar através da válvula e a variação percentual do curso, quando se mantém constante a pressão diferencial através da válvula. Em outras palavras, poderíamos dizer que se trata da relação entre a vazão através da válvula e o correspondente sinal do controlador, sob pressão diferencial constante, através da válvula.

Por outro lado, a **característica de vazão instalada** é definida como sendo a real característica de vazão, sob condições reais de operação, onde a pressão diferencial não é mantida constante.

Do fato da pressão diferencial, através da válvula num determinado sistema de controle de processo, nunca manter-se constante, temos que, quando da seleção da característica de vazão, pensar na **característica de vazão instalada**. As características de vazão fornecidas pelos fabricantes das válvulas de controle são **inerentes**, já que não possuem condições de simular toda e qualquer aplicação da válvula de controle.

A **característica de vazão inerente** é a teórica, enquanto que, a **instalada** é a prática.

### 9.3 - ALCANCE DE FAIXA DA VÁLVULA

O alcance de faixa de uma válvula pode ser definido como sendo a relação entre a máxima e mínima vazão controlável. Ele é obtido dividindo-se o coeficiente de vazão (em porcentagem) mínimo efetivo ou utilizável pelo coeficiente de vazão (em porcentagem) máximo efetivo ou utilizável.

Da mesma forma que a característica de vazão, o **alcance de faixa** se **define como alcance de faixa inerente e alcance de faixa instalado**.

O **alcance de faixa inerente** é determinado em condições de queda de pressão constante através da válvula, enquanto que, o **alcance de faixa instalado** obtém-se em queda de pressão variável.

O **alcance de faixa inerente** varia de válvula para válvula em função do estilo do corpo. Na **válvula globo** é da ordem de 50:1, na **esfera** de 50:1 até 100:1, na **borboleta** 20:1, etc..

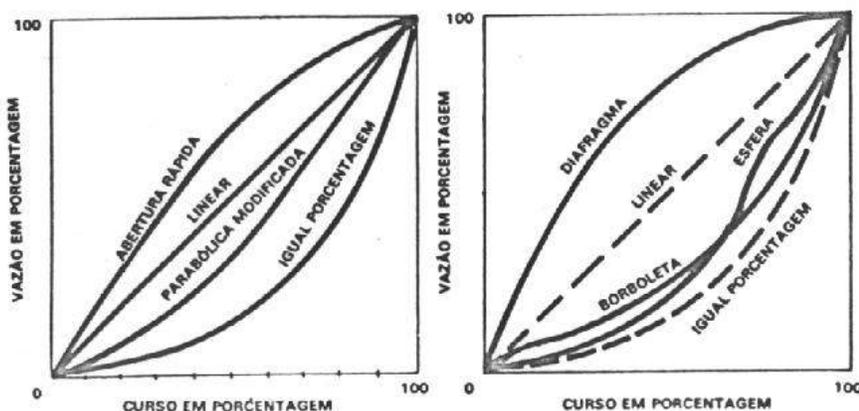
O alcance de faixa instalado pode também ser definido como sendo a relação entre o alcance de faixa inerente e a queda de pressão.

#### 9.4 - CARACTERÍSTICAS DE VAZÃO INERENTES

A característica de vazão é proporcionada pelo formato do obturador (caso das válvulas globo convencionais), ou pelo formato da janela da gaiola ( caso das válvulas tipo gaiola ) ou ainda pela posição do elemento vedante à sede ( caso das válvulas borboletas e esfera ).

Existem basicamente quatro tipos de características de vazão inerentes:

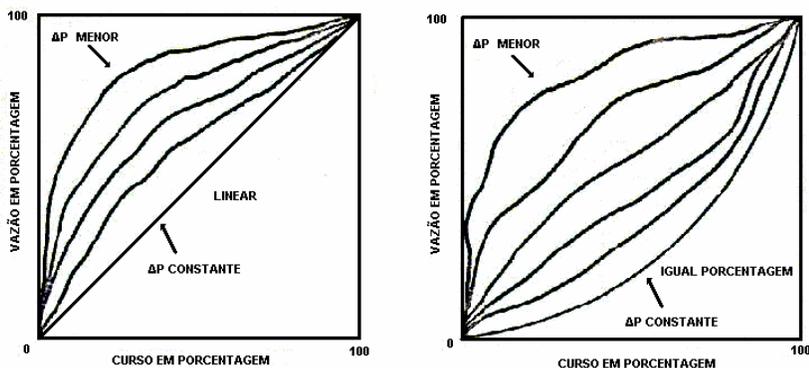
- a) *Linear;*
- b) *Igual porcentagem ( 50:1 );*
- c) *Parabólica modificada e*
- d) *Abertura rápida.*



#### 9.5 - CARACTERÍSTICA DE VAZÃO INSTALADA DAS VÁLVULAS DE CONTROLE

A característica de vazão instalada é definida como sendo a real característica de vazão, sob condições reais de operação, onde a pressão diferencial não é mantida constante. De fato a pressão diferencial num determinado sistema de controle de processo, nunca se mantém constante. As características de vazão fornecidas pelos fabricantes das válvulas de controle são inerentes, já que não possuem condições de simular toda e qualquer aplicação da válvula de controle. A característica de vazão inerente é teórica, enquanto que a característica de vazão instalada é a real.

Instalada a válvula de controle de processo, a sua característica de vazão inerente sofre profundas alterações. O grau de alteração depende do processo em função do tipo de instalação, tipo de fluido, etc. Nessa situação a característica de vazão inerente passa a denominar-se característica de vazão instalada. Dependendo da queda de pressão através da válvula e a queda de pressão total do sistema, a característica de vazão pode alterar-se consideravelmente e, o que é mais interessante, é que se a característica de vazão inerente for linear, esta tende a abertura rápida, enquanto que as características inerentes "igual porcentagem", tendem a linear conforme podemos ver pelas figuras a seguir.



## 10 - COEFICIENTE DE VAZÃO ( CV )

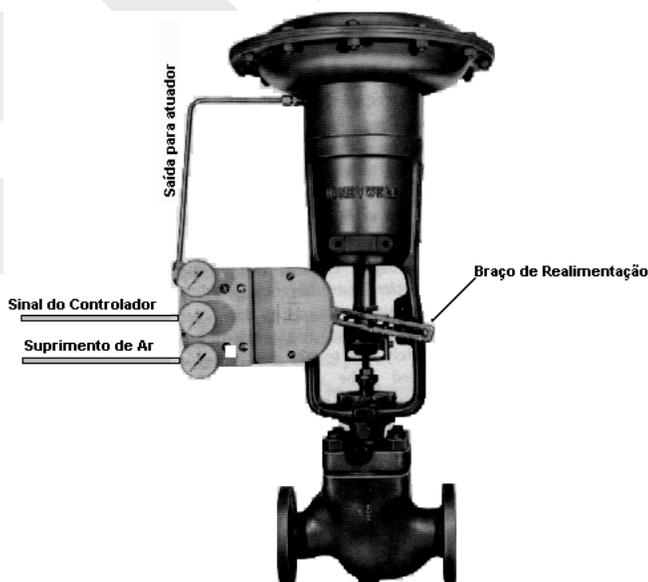
O termo CV , por definição , é a quantidade de água a 60 ° F medida em galões , que passa por uma determinada restrição em 1 minuto , com uma perda de carga de 1 psi .

**Ex :** Uma válvula de controle com CV igual a 12 , tem uma área efetiva de passagem quando totalmente aberta , que permite o escoamento de 12 GPM de água com uma pressão diferencial de 1 psi .

Basicamente é um índice de capacidade , com o qual estimamos rápida e precisamente o tamanho requerido de uma restrição em um sistema de escoamento de fluidos .

## 11 – POSICIONADORES

É o dispositivo que trabalha em conjunto com o atuador da válvula de controle para posicionar corretamente o obturador em relação a sede da válvula . O posicionador compara o sinal emitido pelo controlador com a posição da haste da válvula e envia ao atuador da válvula a pressão de ar necessária para colocar o obturador na posição correta .



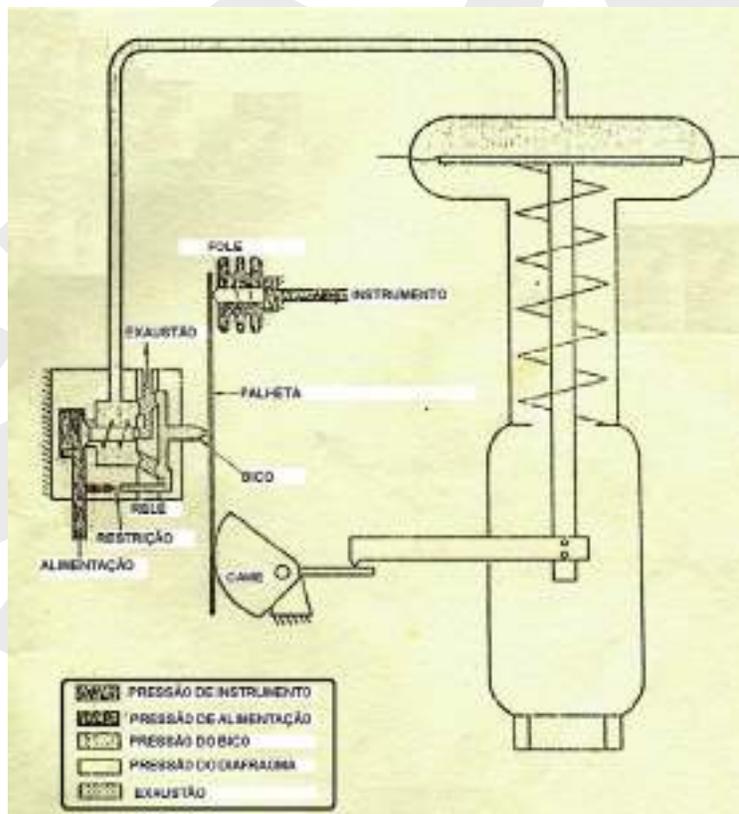
## 11.1 - PRINCIPAIS APLICAÇÕES DO POSICIONADOR EM VÁLVULAS

- Diminuir o atrito na haste da válvula quando a gaxeta é comprimida com grande pressão , para evitar vazamento do fluido .
- Para válvulas de sede simples , recoloca a válvula na abertura correta , quando a pressão exercida no obturador variar .
- Modificar o sinal do controlador . O posicionador , por exemplo , recebe um sinal de 3 a 15 psi do controlador e emite um sinal de 6 a 30 psi para o atuador .
- Aumentar a velocidade de resposta da válvula . Usando-se um posicionador , eliminam-se: os atrasos de tempo provocados pelo comprimento e diâmetro dos tubos de ligação entre a válvula e o controlador e volume do atuador .
- Inverter a ação do controlador .

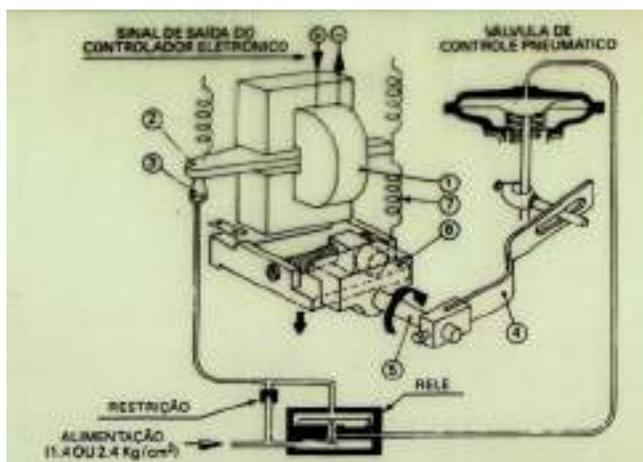
## 11.2 - LIMITAÇÕES DO USO DO POSICIONADOR

As aplicações acima são muito usadas, entretanto, em processos rápidos, o uso do posicionador pode ser prejudicial para a qualidade do controle, principalmente no controle de vazão. Quando necessário, podem ser usados boosters para pressão ou volume ao invés do posicionador.

### 11.2.1 – Exemplo de posicionador pneumático



### 11.2.2 – Exemplo de posicionador eletropneumático



### 11.3 - POSICIONADOR INTELIGENTE

O posicionador inteligente é um equipamento de última geração microprocessado e totalmente programável. Uma das diferenças entre os posicionadores inteligentes e os outros é a eliminação do link mecânico, sendo que a realimentação, ou seja, a posição da haste da válvula de controle é feita através do efeito “Hall” (campo magnético). Existem basicamente três formas de programar o instrumento: localmente no seu visor, através de um Hand Held ( programador ) ou através de um software de programação.

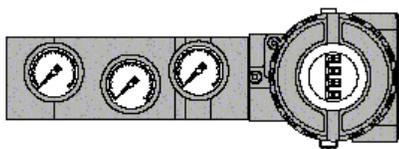
O posicionador inteligente permite através de sua programação obtermos as seguintes informações:

- Leitura da posição da válvula, sinal de entrada e pressão no atuador,
- Comandos de posição da válvula, configuração e auto calibração,
- Auto ajustes,
- Tempo de fechamento e abertura, No. de ciclos,
- Gráficos de pressão x posição,
- Histórico da configuração,
- Caracterização de fluxo através do programa de came: linear, abertura rápida etc,
- Limites de posição e
- Diagnósticos.

#### 11.3.1- Vantagens do posicionador inteligente

A seguir citamos algumas vantagens dos posicionadores inteligentes:

- Eleva a confiança nas manutenções preventivas,
- O melhor posicionamento e controle dinâmico da válvula aumentam o rendimento do processo,
- Reduz as variações no processo,
- Calibração, configuração e gerenciamento do posicionador dentro da sala de controle E
- Posicionamento e resposta da válvula melhorados.



smar

---

## CAPÍTULO 9: MEDIÇÃO DE OUTRAS VARIÁVEIS

### 1 - MEDIÇÃO DE DENSIDADE

- A) Conceitos
- B) Métodos de Medição de Densidade
  - Densímetros
  - Medidor de Densidade por Pressão Hidrostática
  - Medição Contínua de Densidade e Concentração
  - Medição de Concentração
  - Nível de Interface
  - Instalação Típica em Linha
  - Instalação Típica para Nível de Interface
  - Características e Benefícios / Comparação com outras Tecnologias

### 2 - MEDIÇÃO DE PH

- A) Conceitos
- B) Método de Medição
- C) Instrumentos de Medição
  - Eletrodo de Medição
  - Eletrodo de Referência
- D) Aplicações

## 1 - MEDIÇÃO DE DENSIDADE

Nos processos industriais, a densidade é fator importante para determinar a concentração de alguns produtos químicos, como ácido sulfúrico, na correção de vazão de gases ou vapores, ou ainda na análise do produto final.

### A) Conceitos:

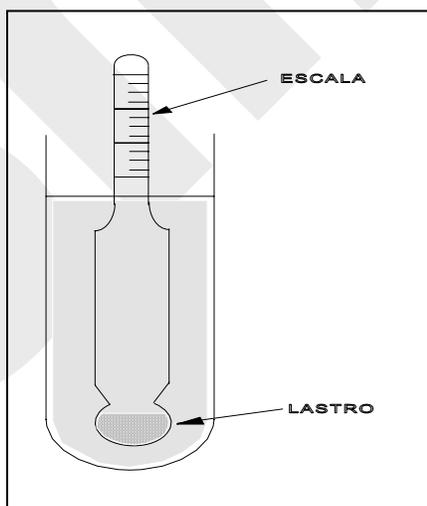
Podemos definir a densidade ( $\delta$ ) de um líquido ou sólido como sendo a massa (ou peso) específico de uma substância em relação à massa específica da água. No caso dos gases relaciona-se com a massa específica do ar (à 0 °C e 1 atm).

$$a) \delta_{\text{líquido}} = \frac{\rho_{\text{líquido}}}{\rho_{\text{água}}}$$
$$b) \delta_{\text{gás}} = \frac{\delta_{\text{gás}}}{\rho_{\text{ar}}}$$

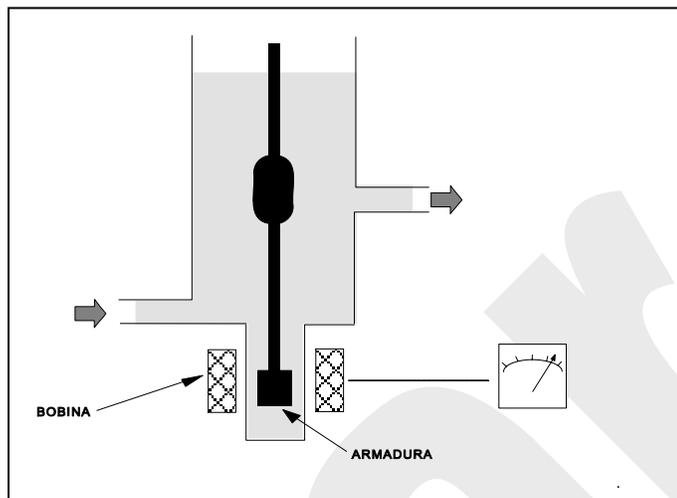
### B) Métodos de Medição de Densidade:

Vários métodos são utilizados para se medir densidade de um fluido, tanto no processo como em laboratório. Segue-se os métodos mais utilizados:

- **Densímetros:** Consiste em um flutuador lastrado em sua parte inferior e uma escala graduada na parte superior. O dispositivo trabalha em equilíbrio com o líquido, quanto maior a densidade do líquido, maior a força de empuxo, deslocando-o para cima e equilibrando em nova posição. A leitura é feita diretamente na escala gravada na parte superior, tendo como referência a superfície do líquido. Este tipo de densímetro é muito utilizado em medições locais ou de laboratório.



Pode-se também transmitir o valor da densidade a distância, incorporando um transdutor de indutância variável com a armadura presa na parte inferior do flutuador. Esses tipos de medidores são próprios para trabalhar com líquidos limpos e sua faixa de trabalho varia de 0,5 a 4,0.

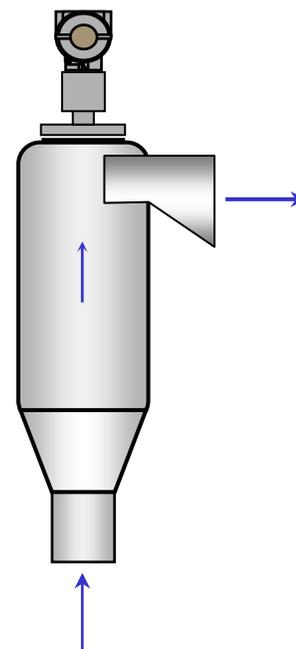
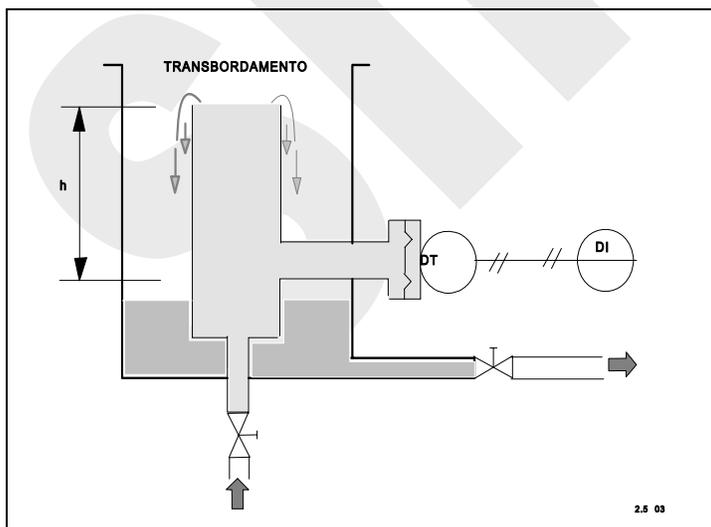


○ **Medidor de Densidade por Pressão Hidrostática.**

Baseia-se no princípio de Stevin, onde a pressão exercida por uma coluna líquida varia diretamente em função de altura da coluna e da densidade do líquido.

$$P = h \cdot \delta$$

Mantendo-se a altura constante, temos a variação da pressão apenas em função da variação da densidade. Para determinar o range do transmissor, é preciso conhecer a altura (h) e a variação mínima e máxima da densidade ( $\delta$ ).



Exemplo:

$\delta$  (densidade) = 0,7 a 1,2

h (altura) = 500 mm

Range do DT: (0,7 x 500 mm) a (1,2 x 500mm)

Range do DT: 350 a 600 mm H<sub>2</sub>O

A escala do indicador será graduada de 0,7 a 1,2.

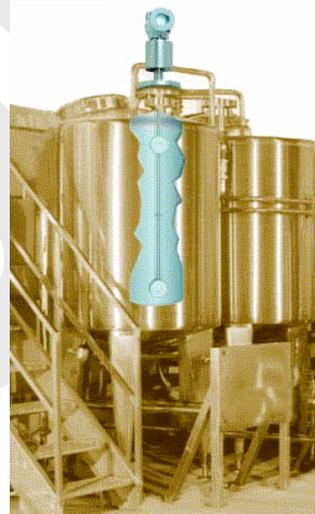
o **Medição Contínua de Densidade e Concentração**

Muitos processos industriais requerem medição contínua de densidade para operarem eficientemente e para garantirem qualidade e uniformidade ao produto final.

A medição da densidade de líquidos é necessária, entre outras, nas seguintes indústrias:

- Usinas de Açúcar e Álcool
- Cervejarias, Sucos e Refrigerantes
- Laticínios e Vinícolas
- Indústria Química e Petroquímica
- Indústria Alimentícia
- Indústria de Papel e Celulose
- Indústria de Fertilizantes e Mineração

Através da densidade pode-se identificar um produto, detectar contaminações e determinar seu grau de pureza. A densidade, por exemplo, foi usada por Archimedes para determinar que a corôa de ouro do rei Heros não era pura.



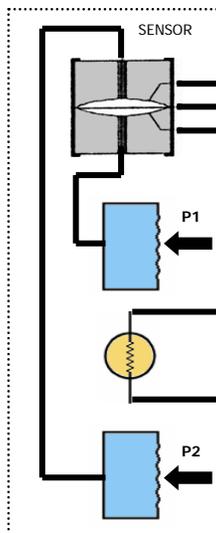
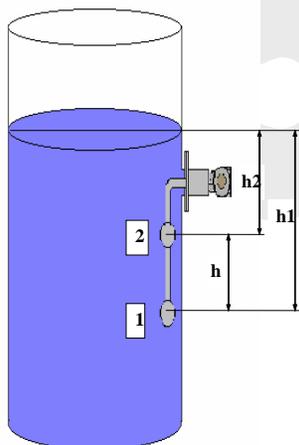
$$P1 = \rho \cdot g \cdot h1$$

$$P2 = \rho \cdot g \cdot h2$$

$$P1 - P2 = \rho \cdot g \cdot (h1 - h2)$$

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$\rho = \Delta P / g \cdot h$$



### ○ Medição de Concentração

Conhecendo-se a densidade e a temperatura de um fluido é possível conhecer-se sua concentração, que é a quantidade de componentes dissolvidos ou de sólidos em suspensão, tais como:

- Grau Brix
- Grau Baumé
- Grau Plato
- Grau INPM
- Grau GL
- % de Sólidos
- % de Concentração

#### ➤ Grau Brix e Grau Platô

É a porcentagem em massa de sacarose presente em uma solução. Por exemplo: em uma solução a 30 °Brix teremos 30 g de sacarose em 100 g de solução. Utilização: em indústrias de açúcar e álcool, indústrias de sucos, de refrigerantes, cervejarias, etc.

#### ➤ Grau Baumé

O grau Baumé é calculado pela fórmula:  $\text{Baumé} = 144,3 - (144,3 / \text{densidade relativa})$   
Utilização: Industrias Químicas, Petroquímicas, Papel e Celulose, etc.

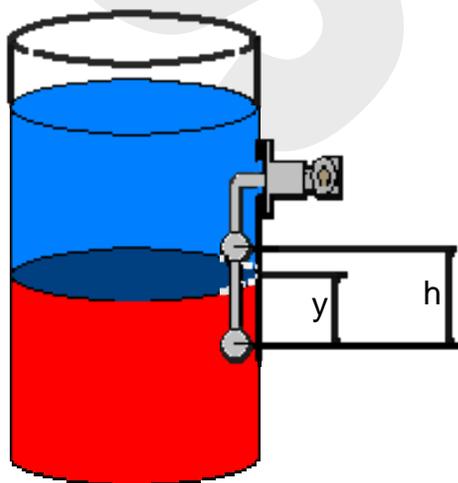
#### ➤ Grau INPM

É a porcentagem em peso de álcool em uma solução hidroalcoólica. Por exemplo: uma solução hidroalcoólica com 97 °INPM contém 97 g de álcool em 100 g de solução. Utilização: Indústrias de Bebidas, Destilarias de Álcool, etc.

#### ➤ Grau GL

É a porcentagem em volume de álcool em uma solução hidroalcoólica. Por exemplo: uma solução hidroalcoólica com 97 ° GL contém 97 ml de álcool em 100 ml de solução. Utilização: Indústrias de Bebidas, etc.

### ○ Nível de Interface



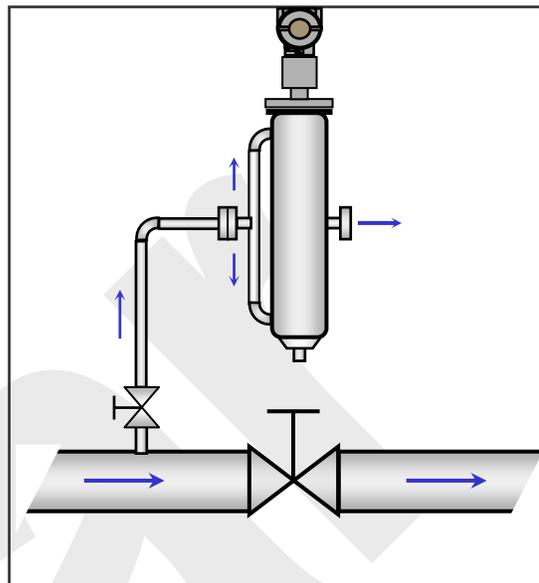
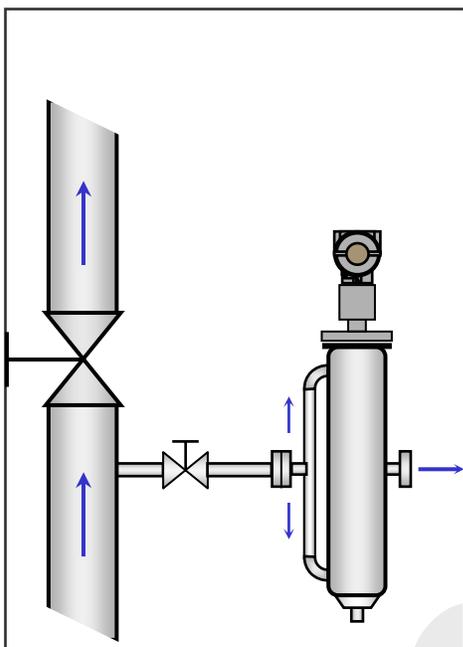
**h máximo = 500 mm**

**y = 0 to 100%**

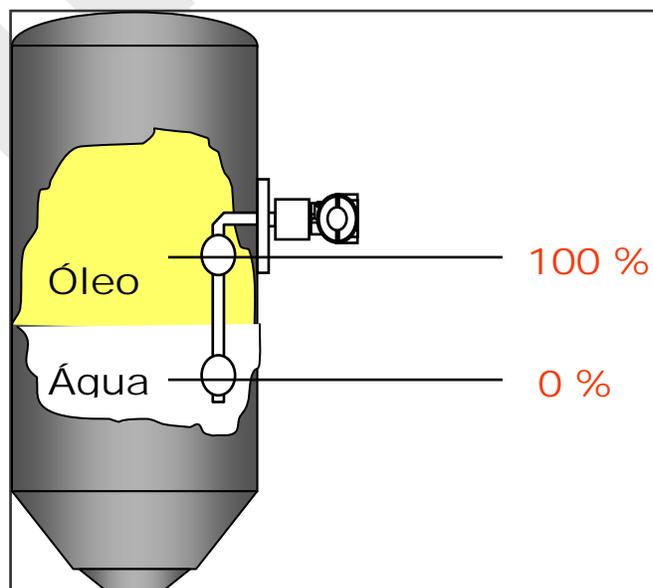
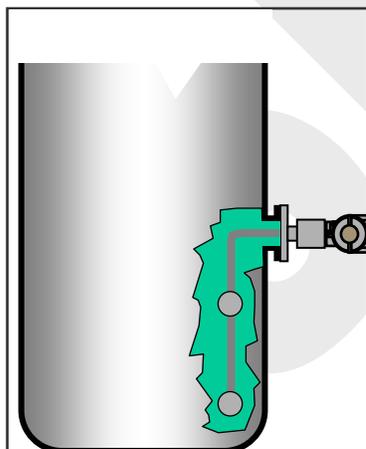
Exemplo:

Calibração = 0 a 500 mm  
y = 20% significa que a interface está a 100 mm acima do diafragma repetidor inferior.

- Instalação Típica em Linha



- Instalação Típica para Nível de Interface



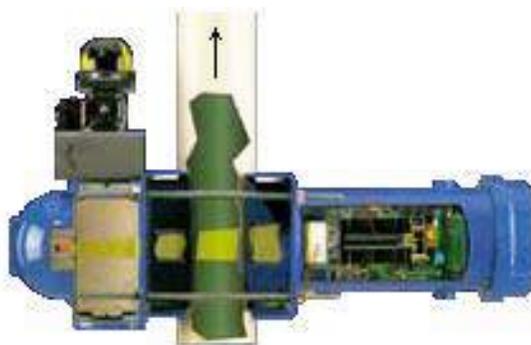
- **Características e Benefícios / Comparação com outras Tecnologias**

**- Pressão Hidrostática**

- Medição contínua, com grande precisão, de densidade e concentração.
- Unidade única e integrada, sem eletrônica remota.
- Comunicação digital usando protocolo Hart, Foundation Fieldbus ou Profibus.
- Informação para identificação das partes molhadas, configuração, ajuste de range e diagnósticos podem ser acessados remotamente.
- Opera à 2 fios com a alimentação e a comunicação sobrepostas.
- Leitura direta da densidade e temperatura do processo em unidades de engenharia via comunicação digital ou no indicador local.
- Re-calibração remota on line, sem a necessidade de retirar o equipamento do processo.
- Configuração remota das unidades de densidade e concentração tais como:  $\text{g/cm}^3$ ,  $\text{kg/m}^3$ , densidade relativa, °Brix, °Baume, °API, °Plato, °INPM, % de sólidos, etc.
- Aplicação em tanques ou em linha, adequado para fluidos estáticos e dinâmicos.
- Equipamento robusto, sem partes móveis.
- Não requer filtragem.
- À prova de explosão e intrinsecamente seguro.

**- Tecnologia Nuclear**

- Fontes nucleares exigem cuidados especiais para operação segura (NRC licensing).
- Requer testes periódicos para verificação de vazamentos.
- Normalmente tem baixa precisão.
- Instalação mecânica exige montagem de duas partes (fonte e receptor) com diferentes partes eletrônicas ligados por fios.
- Requer fonte externa de alimentação, visto que não pode ser alimentado pela malha.
- Adequado somente para líquidos com movimento, não podendo ser instalado em tanques.



### - Tecnologia Diapásão Vibrante (tuning fork)



- Devido ao alto consumo de energia elétrica, não pode ser alimentado através dos fios da malha, sendo necessário fonte externa.
- Normalmente tem baixa precisão.
- Utiliza partes movies.
- Requer manutenção periódica.
- Não é tão robusto.

### - Tecnologia por Coriolis

- Requer instalação em linha, sendo inadequado para tanques.
- Poder ser difícil de acoplar ou remover.
- Difícil intercambiabilidade e limpeza pois não há tubo de comprimento normalizado para vazão, nem de formas retas.
- Devido ao alto consumo de energia, requer fonte externa.
- Normalmente de baixa precisão para densidade.
- Usa tubos vibrantes, peças movies.
- Difícil de ser recalibrado.



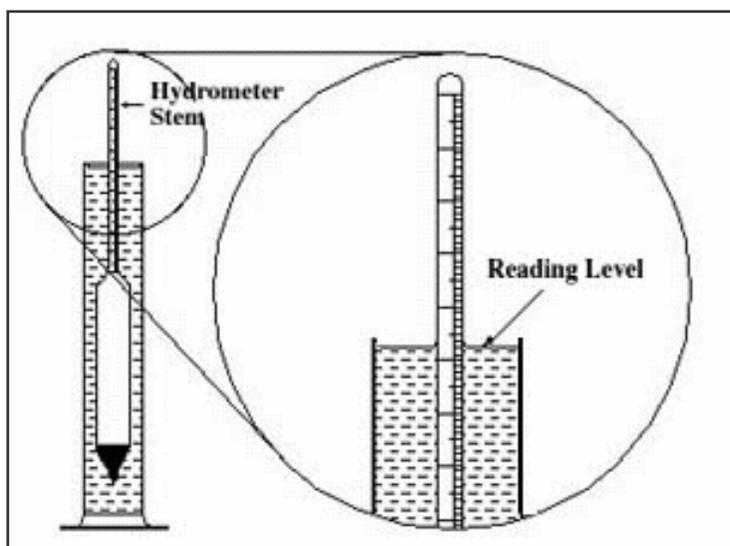
### - Refratômetros



- Refratômetros requerem fonte externa de alimentação.
- A parte eletrônica é separada dos sensores, sendo interconectados por fios.
- Normalmente tem baixa precisão.
- Requer que o prisma esteja sempre limpo.
- Cuidados especiais devem ser tomados em instalações estáticas, onde pode haver encrustações.

### - Hidrômetros

- Baixa precisão.
- Não realiza medições contínuas.
- Requer coleta de amostras.
- Expõe operadores aos possíveis perigos de intoxicação pelos líquidos e vapores.



### - Laboratório



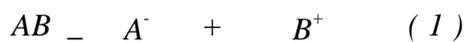
- Todas as técnicas de medição de densidade em laboratório dependem de coleta de amostras no campo.
- Medição não é em tempo real.
- Valores discretos (quando os resultados são obtidos, o processo pode já estar com outras características).
- Coleta de amostras expõe operadores a vários riscos (explosão, contaminação, etc).
- Processos geralmente caros (por volta de **US\$ 30,000**).

## 2 - MEDIÇÃO DE pH

**A) Conceitos:** Os medidores de pH ou (peagômetros são instrumentos analíticos que, através da medição da concentração de íons hidrônios em uma solução aquosa, nos permite conhecer o grau de acidez/alcalinidade dessa solução.

Para entender melhor essa relação entre pH, concentração iônica e acidez/alcalinidade, precisamos antes conhecer o que é "Dissociação Eletrolítica". De acordo com a teoria clássica de Arrhenius, ácidos e bases (álcalis) são constituídos por soluções contendo íons, positivos e negativos, que se encontram livres nestas soluções, resultantes de moléculas que se dissociaram ou se combinaram, dando-se a esse fenômeno o nome de dissociação eletrolítica.

Generalizando este fenômeno, podemos representar essa dissociação eletrolítica através da expressão:



(*Ánion*)      (*catión*)

Ainda segundo Arrhenius, a água sofre uma dissociação eletrolítica espontânea, originando os íons hidrônios e hidroxilas, segundo a expressão:



**Comentário:** A expressão (2) representa a teoria clássica. A teoria atual considera o íon hidrônio  $H_3O^+$ , admitindo a dissociação mais precisa:



Considera-se que uma solução que apresente neutralidade ou seja uma solução não ácida e não alcalina, possui uma concentração iônica de  $[H_3O^+]$  igual a  $[OH^-]$ , e que a 25°C o produto iônico desta solução é igual a  $10^{-14}$ .

Pelo exposto conclui-se que:

$$\text{Produto iônico} = [H_3O^+] \cdot [OH^-] \quad (4)$$

$$10^{-14} = [H_3O^+] \cdot [OH^-] \quad (5)$$

$$[H_3O^+] = [OH^-] \quad (6)$$

$$\text{Logo: } 10^{-14} = [H_3O^+] \cdot [H_3O^+] \quad (7)$$

ou

$$10^{-14} = [H_3O^+]^2 \quad (8)$$

Resultando em:

$$[H_3O^+] = 10^{-7} \quad (9)$$

**Observação:** O mesmo pode ser calculado para o OH<sup>-</sup> o que resultará em 10<sup>-7</sup> para soluções neutras à 25°C. Com o aumento ou diminuição da concentração de íons hidrônios ou hidroxilas em uma solução teremos uma maior ou menor acidez/alcalinidade dessa solução.

De posse desses valores pode-se estabelecer relações tais como:

Produt o iônico	10 <sup>-14</sup>
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	10 <sup>0</sup> 10 <sup>-1</sup> 10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-10</sup> 10 <sup>-11</sup> 10 <sup>-12</sup> 10 <sup>-13</sup> 10 <sup>-14</sup>
OH <sup>-</sup>	10 <sup>-14</sup> 10 <sup>-13</sup> 10 <sup>-12</sup> 10 <sup>-11</sup> 10 <sup>-10</sup> 10 <sup>-9</sup> 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-1</sup> 10 <sup>0</sup>
	Faixa Ácida                                      Neutra                                      Faixa Alcalina

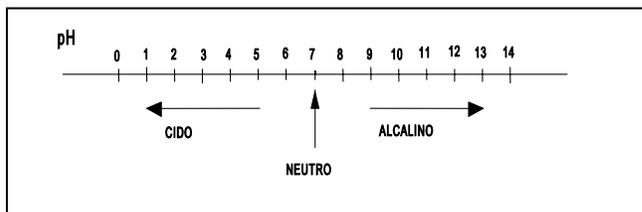
Tabela 01: Acidez / Alcalinidade da concentração de íons.

Através de um artifício matemático, surge através de SORENSEN, o pH (potencial hidrogeniônico) que, assim como o metro é uma medida de comprimento e o grau Célcus uma medida de temperatura, passaria o pH a ser uma medida de acidez / alcalinidade de uma solução. Sorensen definiu pH pela expressão matemática:

$$pH = \log \frac{1}{[H_3O^+]} \quad ( 11 )$$

É importante notar que a concentração iônica da água varia com a temperatura, portanto o pH varia com a temperatura. Assim sendo, a água pura adquire os seguintes valores de pH:

$$\begin{aligned} \text{À } 0^\circ C \text{ a } H_3O^+ &= 0,34 \cdot 10^{-7} \\ \text{logo: } pH &= 7,48 \\ \text{À } 25^\circ C \text{ a } H_3O^+ &= 1,10^{-7} \\ \text{logo: } pH &= 7,00 \\ \text{À } 50^\circ C \text{ a } H_3O^+ &= 3,1 \cdot 10^{-7} \\ \text{logo: } pH &= 6,52 \end{aligned}$$



Com base no descrito até agora podemos definir a escala de pH.

**Observação:** Embora a escala apresente valores de pH entre 0 e 14 existem valores de pH menores que 0 e maiores que 14 mas não são de interesse industrial.

## B) Método de Medição

Existem basicamente dois métodos de medição de pH. O método colorimétrico e método eletrométrico.

1) O método colorimétrico consiste em se empregar indicadores reativos que, em contato com a solução aquosa que se quer medir o pH, apresenta alterações em sua coloração. Comparando-se a cor adquirida pelo reativo com escalas coloridas graduadas, conhece-se o valor do pH da solução. As formas de utilização estes indicadores reativos mais comuns são:

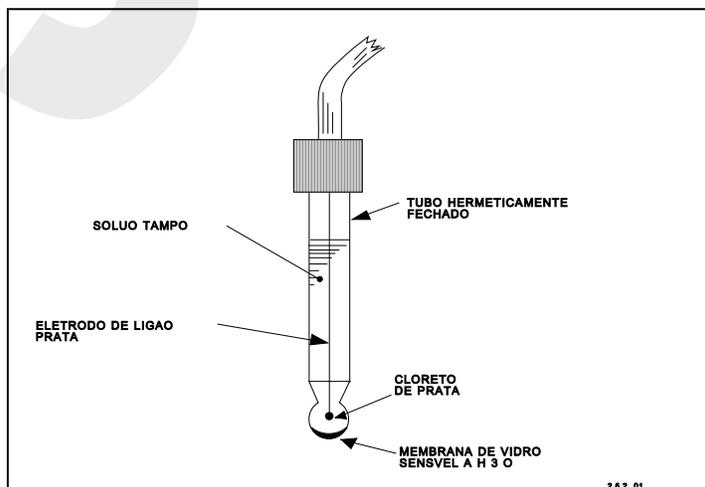
- tiras de papel impregnadas com os reativos;
- Soluções que possuem os reativos ainda inalterados.

Este método (colorimétrico) apresenta desvantagens, como por exemplo, ser descartável, não poder ser utilizado em análises contínuas e apresentando resultados muito imprecisos. São, no entanto, de fácil aplicação, o que consiste em uma vantagem.

2) O método que, teve sua aplicação iniciada por volta de 1906 por Cremer, estabelece que quando duas soluções com concentrações de íons hidrônios  $[H_3O^+]$  diferentes, são separadas por uma membrana de vidro especial, surge entre as superfícies dessa membrana uma diferença de potencial proporcional a diferença de pH dessas soluções.

## C) Instrumentos de Medição

Para se medir o pH de uma solução aquosa pelo método eletrométrico utiliza-se elementos denominados eletrodos. Existem dois tipos de eletrodos. O eletrodo de medição e o eletrodo de referência.



□ **Eletrodo de Medição:** O eletrodo de medição mais utilizado é o eletrodo de membrana de vidro (fig.1) que atende a cerca de 99% dos casos. Consiste em uma membrana de vidro sensível aos íons de  $[H_3O^+]$  conectada a um recipiente tubular herméticamente fechada contendo em seu interior um outro eletrodo de ligação, este último geralmente de prata com a ponta recoberta com cloreto de prata imerso numa solução tampão, ou seja  $[H_3O^+]$  constante.

Entre a superfície interna da membrana de vidro e a superfície externa surge uma diferença de potencial que é proporcional à diferença de concentração de íons hidrônios entre elas. Este potencial depende da hidratação e de um fenômeno de troca de cátions monovalentes do vidro por íons hidrônios da solução.

No eletrodo ideal, a membrana apresenta mobilidade somente para os íons  $H_3O^+$  por isso considerado um eletrodo seletivo. Como na superfície interna a solução apresenta uma concentração de íons hidrônios constante (solução tampão) as variações da diferença de potencial são função das concentrações de íons hidrônios das soluções à se medir (em contato com a superfície externa do eletrodo).

A diferença de potencial, na membrana é determinada matematicamente pela expressão:

$$E = U_n \cdot ( pH_{ref} - pH_{med} )$$

Onde:

E = diferença de potencial

$U_n$  = tensão do Normal (0,059 Volts à 25°C)

pH ref = pH da solução Tampão (pH = 7)

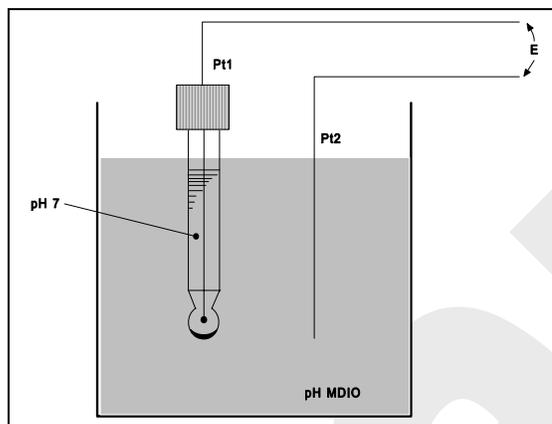
pH méd = pH da solução à se medir

Pelo exposto temos que o potencial "E" é uma função linear do pH da solução, e que este potencial varia com a temperatura, conforme a tabela nos mostra:

TEMPERATURA				
	0°C	25°C	50°C	100°C
PH	mV	mV	mV	mv
0	+379,33	+414,12	+448,84	+518,21
1	+325,14	+354,96	+384,72	+444,18
2	+270,95	+295,80	+320,60	+370,15
3	+216,76	+236,64	+256,48	+296,12
4	+162,57	+177,48	+192,36	+222,09
5	+108,38	+118,32	+128,24	+148,06
6	+ 54,19	+ 59,16	+ 64,12	+ 74,03
7	0,00	0,00	0,00	0,00
8	- 54,19	- 59,16	- 64,12	- 74,03
9	-108,38	-118,32	-128,24	-148,06
10	-162,57	-177,48	-192,36	-222,09
11	-216,76	-236,64	-256,48	-296,12
12	-270,95	-295,80	-320,60	-370,15
13	-325,14	-354,96	-384,96	-444,18
14	-379,33	-414,12	-448,84	-518,21

Tabela.02: Tabela (pH x mV)

- **Eletrodo de Referência:** Antes de iniciarmos alguns comentários sobre o que vem a ser o eletrodo de referência, vamos considerar a medição feita com o eletrodo de vidro, como na figura 03:



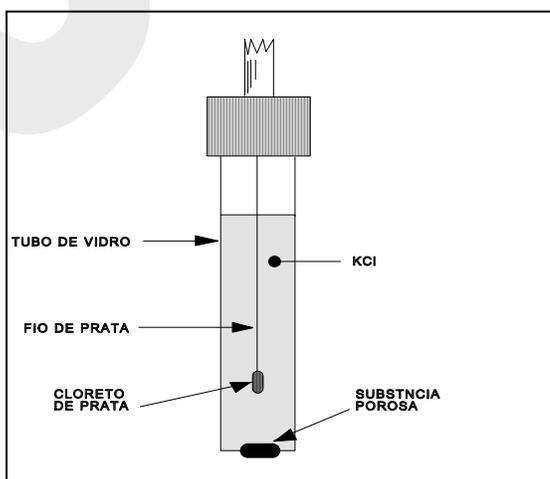
2.5.2 - 03

Se analisarmos a figura anterior, veremos que o eletrodo do  $P_2$  se portará como o eletrodo de prata (no interior do  $Pt_1$ ), sendo altamente sensível às variações do pH, temperatura, impossibilitando a medição. Dessa forma surge o eletrodo de referência que é constituído por um tubo de vidro hermeticamente fechado com um eletrodo de prata imerso em um eletrólito, tendo na parte inferior uma substância porosa responsável pela função líquido - líquido.

O eletrólito, (KCL) faz a junção líquido - líquido ou seja, liga a parte externa da solução à se medir o pH com a parte interna do eletrodo de referência. Este contato é feito através de uma junção porosa que pode ser constituída por um bloco de porcelana, vidro sinterizado, etc...

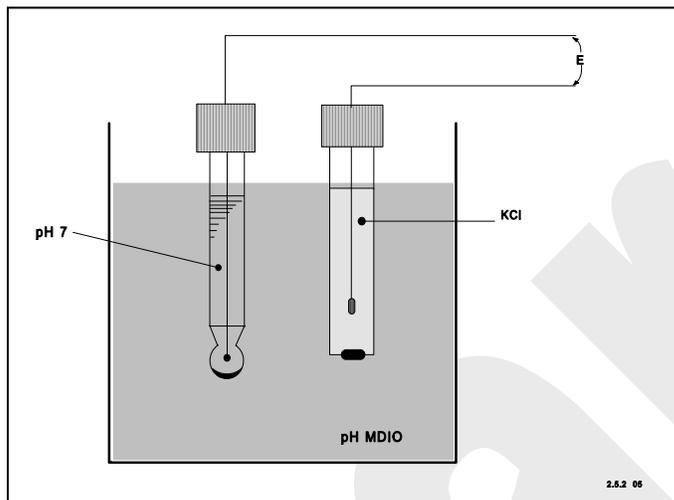
A solução de KCL deve fluir permanentemente através de junção, renovando a interface da junção líquido - líquido, para reduzir o potencial de junção, de magnitude variável e que se soma algebricamente ao potencial da pilha constituída pelos dois eletrodos. O potencial de junção é praticamente constante quando duas espécies, iônicas que constituem a parte eletrolítica apresentem mobilidades semelhantes. Os íons de  $K^+$  e  $CL^-$  satisfaçam a esta condição e por essa razão, o KCL é o mais utilizado.

A figura a abaixo, nos mostra um eletrodo de referência.



2.5.2 04

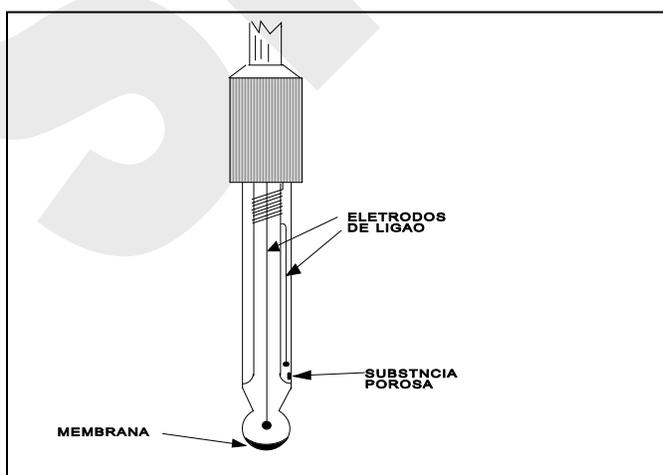
O sistema de medição fica então como segue:



Os eletrodos de referência são classificados de duas formas:

- escoamento
- difusão

No tipo de eletrodo de referência por escoamento, ocorre como já foi comentado, o eletrólito esco lentamente em direção à solução do processo. Nesse tipo de eletrodo, é sempre necessária a existência de uma pressão positiva para forçar a saída do eletrólito e evitar a contaminação interna do eletrólito pela solução do processo. No eletrodo por difusão, ocorre apenas a passagem dos íons de eletrólito para a solução do processo, ou seja, não há passagem de moléculas.



Em algumas aplicações utiliza-se o eletrodo de medição e referência fabricados num só eletrodo, denominado eletrodo combinado. A figura ao acima, nos mostra um eletrodo combinado.

Sua aplicação é feita basicamente em soluções com baixa condutividade (1 à 3 S). Para fecharmos os conceitos de medidores de pH, é importante frisar-nos a existência do Potencial de Assimetria e o Eletrodo de Compensação de Temperatura. O Potencial de Assimetria é a tensão que aparece entre as superfícies da membrana do eletrodo de medição mesmo quando ambos os lados dessa membrana estão em contato com soluções com pH idênticos.

O Eletrodo de Compensação de Temperatura visa compensar as variações de resposta dos eletrodos com as alterações de temperatura, tornando-os imune a estas variações.

Ph de algumas soluções:

-Soda Cáustica à 4%	= 14,0
-Leite de Cal	= 12,5
-Leite de Magnésia	= 10,5
-Borax	= 9,5
-Clara de Ovo	= 8,0
-Água Pura	= 7,0
-Leite	= 6,7
-Cerveja	= 4,3
-Suco de Laranja	= 3,5
-Suco de Limão	= 1,5
-Ácido Sulfúrico à 5%	= 0,0

OBS: Pela CETESB (Companhia Estadual de Tratamento e Saneamento Básico do Est. de São Paulo), o pH permitido no tratamento de efluentes para as indústrias deve ser de 5.0 a 9.0.

#### D) Aplicações:

Os peagômetros (medidores de pH) tem sua aplicação nos mais variados tipos de processos industriais. Qualquer tipo de laboratório o uso de peagômetro é de fundamental importância. Industrialmente sua aplicação mais clássica é a de unidades de tratamento de águas industriais, com o objetivo de se controlar o pH das águas utilizadas dentro das indústrias, antes de jogá-las de volta aos rios e fontes de água.

Podemos citar como aplicações principais da medição e controle de pH:

- Processos onde o rendimento e/ou controle de qualidade do produto é função de pH.
- Inibição de corrosão.
- Tratamento e neutralização de efluentes

No primeiro caso enquadram-se processos químicos e bioquímicos, podendo-se citar dentre os últimos a produção de antibióticos por fermentação. A inibição de corrosão por controle de pH é aplicada principalmente no controle de água de alimentação de caldeiras. No tratamento de efluentes são efetuados o controle da neutralização final, e eventualmente a manutenção de níveis de pH apropriados ao desenvolvimento de reações de oxi-redução e / ou precipitação.

## **10. INTRODUÇÃO AO CONTROLE DE PROCESSO**

### **1.0) Introdução**

#### **1.1) Evolução Histórica do Controle Automático**

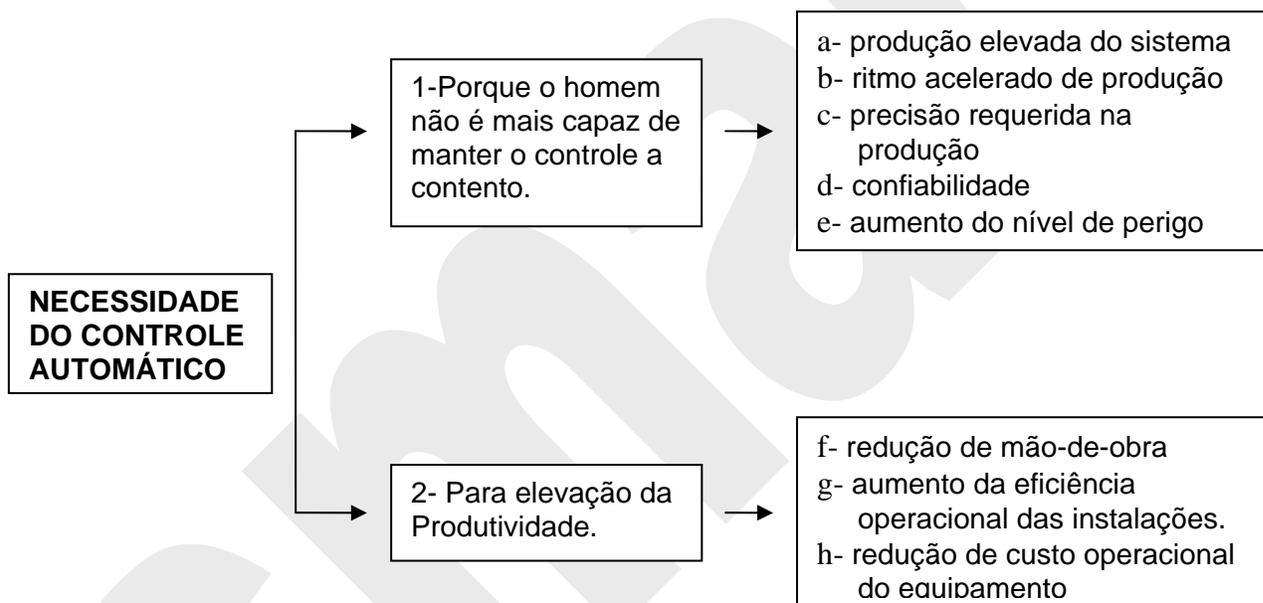
### **2) Conceitos e Considerações Básicas de Controle Automático**

#### **2.1) Conceitos**

smar

## 1.0 INTRODUÇÃO

No início, a humanidade não conhecia os meios para se obter a energia a partir da matéria. Desse modo, a energia era fornecida pelo próprio trabalho humano ou pelos trabalhos de animais domésticos. Somente no século XVIII, com o advento das máquinas a vapor, conseguiu-se transformar a energia da matéria em trabalho. Porém, o homem apenas teve a sua condição de trabalho mudada, passando do trabalho puramente braçal ao trabalho mental. Nesse momento, cabia ao homem o esforço de tentar “controlar” esta nova fonte de energia, exigindo dele então muita intuição e experiência, além de expô-lo constantemente ao perigo devido a falta de segurança. No princípio, isso foi possível devido à baixa demanda. Entretanto, com o aumento acentuado da demanda, o homem viu-se obrigado a desenvolver técnicas e equipamentos capazes de substituí-lo nesta nova tarefa, libertando-o de grande parte deste esforço braçal e mental. Daí então surgiu o controle automático que, quanto à necessidade, pode assim ser classificado:



### 1.1 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO CONTROLE AUTOMÁTICO

O primeiro controlador automático industrial de que há notícia é o regulador centrífugo inventado em 1775, por James Watts, para o controle de velocidade das máquinas a vapor.

Esta invenção foi puramente empírica. Nada mais aconteceu no campo de controle até 1868, quando Clerk Maxwell, utilizando o cálculo diferencial, estabeleceu a primeira análise matemática do comportamento de um sistema máquina-regulador.

Por volta de 1900 aparecem outros reguladores e servomecanismos aplicados à máquina a vapor, a turbinas e a alguns processos.

Durante a primeira guerra mundial, N. Minorsky cria o servocontrole, também baseado na realimentação, para a manutenção automática da rota dos navios e escreve um artigo intitulado “Directional Stability of Automatically Steered Bodies”.

O trabalho pioneiro de Norbert Wiener (1948) sobre fenômenos neurológicos e os sistemas de controle no corpo humano abreviou o caminho para o desenvolvimento de sistemas complexos de automação.

A partir daqui o progresso do controle automático foi muito rápido. Atualmente existe uma enorme variedade de equipamentos de medidas primárias, transmissão das medidas (transmissores), de regulação (controles pneumáticos, elétricos e eletrônicos), de controle final (válvulas pneumáticas, válvulas solenóide, servomotores etc.), de registro (registradores), de indicação (indicadores analógicos e digitais), de computação (relés analógicos, relés digitais com microprocessador), PLC's, SDCD's etc.

Estes equipamentos podem ser combinados de modo a constituírem cadeias de controle simples ou múltiplas, adaptadas aos inúmeros problemas de controle e a um grande número de tipos de processos.

Em 1932, H. Nyquist, da Bell Telephone, cria a primeira teoria geral de controle automático com sua "Regeneration Theory", na qual se estabelece um critério para o estudo da estabilidade.

## 2) CONCEITOS E CONSIDERAÇÕES BÁSICAS DE CONTROLE AUTOMÁTICO

### 2.1) CONCEITOS

O controle Automático tem como finalidade a manutenção de uma certa variável ou condição num certo valor ( fixo ou variante). Este valor que pretendemos é o valor desejado.

Para atingir esta finalidade o sistema de controle automático opera do seguinte modo:

- A - Medida do valor atual da variável que se quer regular.
- B - Comparação do valor atual com o valor desejado ( sendo este o último indicado ao sistema de controle pelo operador humano ou por um computador). Determinação do desvio.
- C - Utilização do desvio ( ou erro ) para gerar um sinal de correção.
- D - Aplicação do sinal de correção ao sistema a controlar de modo a ser eliminado o desvio, isto é , de maneira a reconduzir-se a variável ao valor desejado. O sinal de correção introduz pois variações de sentido contrário ao erro.

Resumidamente podemos definir Controle Automático como a manutenção do valor de uma certa condição através da sua média, da determinação do desvio em relação ao valor desejado, e da utilização do desvio para se gerar e aplicar um ação de controle capaz de reduzir ou anular o desvio.

Para concretizar vamos considerar o controle de temperatura da água contida num depósito, de uma maneira simplificada ( fig.2.1).

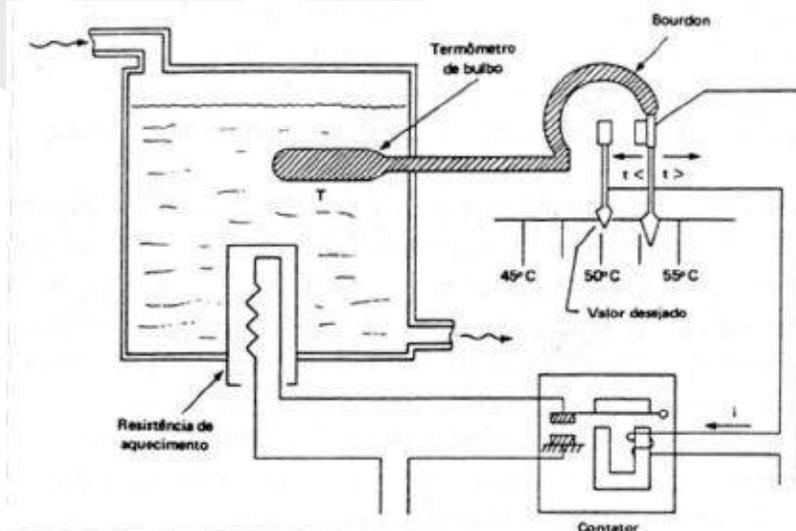


Fig. 2.1 - Controle de Temperatura.

De todas as grandezas relativas ao sistema ( Nível, pressão, vazão, densidade, pH, energia fornecida, salinidade etc.) a grandeza que nos interessa, neste caso, regular é a temperatura da água. A temperatura é então a variável controlada.

Um termômetro de bulbo permite medir o valor atual da variável controlada. As dilatações e contrações do fluido contido dentro do bulbo vão obrigar o “Bourdon”( Tubo curvo de seção elipsoidal) a enrolar ou desenrolar. Os movimentos do extremo do bourdon traduzem a temperatura da água, a qual pode ser lida numa escala.

No diagrama, representa-se um contato elétrico no extremo do bourdon e outro contato de posição ajustável à nossa vontade. Este conjunto constitui um “Termostato”. Admitamos que se quer manter a temperatura da água nas proximidades de 50 °C. Este valor da temperatura da água é o valor desejado.

Se a temperatura, por qualquer motivo, ultrapassar o valor desejado, o contato do termostato está aberto. A bobina do contator não está excitada e o contator mantém interrompida a alimentação da resistência de aquecimento. Não havendo fornecimento de calor , a temperatura da água vai descer devido às perdas. A temperatura aproxima-se do valor desejado. Quando, pelo contrário, a temperatura é inferior ao valor desejado o bourdon enrola e fecha o contato do termostato. O contator fecha e vai alimentar a resistência de aquecimento. Em conseqüência, a temperatura da água no depósito vai subir de modo a aproximar-se de novo do valor desejado.

Normalmente as cadeias de controle são muito mais elaboradas. Neste exemplo simples encontramos contudo as funções essenciais de uma malha de controle.

**Medida -** A cargo do sistema termométrico.

**Comparação -** Efetuada pelo sistema de Contatos ( Posição Relativa)

**Computação -** Geração do sinal de correção ( efetuada também pelo sistema de contatos e pelo resto do circuito elétrico do termostato.

**Correção -** Desempenhada pelo órgão de Controle – Contator

Observa-se que , para a correção da variável controlada ( temperatura) deve-se atuar sobre outra variável (quantidade de calor fornecida ao depósito). A ação de controle é aplicada, normalmente, a outra variável da qual depende a variável controlada e que se designa com o nome de variável manipulada. No nosso exemplo, o “Sinal de Controle” pode ser a corrente elétrica  $i$ .

Como veremos mais tarde, estamos diante de uma malha de controle do tipo ON-OFF. O sinal de controle apenas pode assumir dois valores. Na maior parte dos casos , como se verá, a função que relaciona o sinal de controle com o desvio é muito mais elaborada. Podemos agora representar um diagrama simbólico das várias funções e variáveis encontradas (fig.2.2). Alguns dos elementos de medida e os elementos de comparação e de computação fazem normalmente parte do instrumento chamado de “CONTROLADOR”.

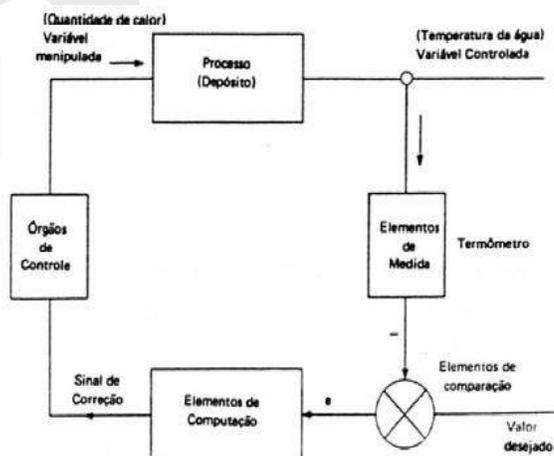


Fig.2.2 - Diagrama das funções e variáveis envolvidas no controle de temperatura.

Para facilitar o entendimento de alguns termos que aqui serão utilizados, a seguir, serão dadas de forma sucinta suas definições:

**Planta:** Uma planta é uma parte de um equipamento, eventualmente um conjunto de itens de uma máquina, que funciona conjuntamente, cuja finalidade é desenvolver uma dada operação.

**Processo:** Qualquer operação ou sequência de operações, envolvendo uma mudança de estado, de composição, de dimensão ou outras propriedades que possam ser definidas relativamente a um padrão. Pode ser contínuo ou em batelada.

**Sistemas:** É uma combinação de componentes que atuam conjuntamente e realizam um certo objetivo.

**Variável do Processo (PV):** Qualquer quantidade, propriedade ou condição física medida a fim de que se possa efetuar a indicação e/ou controle do processo (neste caso, também chamada de variável controlada).

**Variável Manipulada ( MV):** É a grandeza que é operada com a finalidade de manter a variável controlada no valor desejado.

**Set Point (SP):** É um valor desejado estabelecido previamente como referência de ponto de controle no qual o valor controlado deve permanecer.

**Distúrbio (Ruído):** É um sinal que tende a afetar adversamente o valor da variável controlada.

**Desvio (ou Erro):** Representa o valor resultante da diferença entre o valor desejado e o valor da variável controlada.

**Ganho:** Representa o valor resultante do quociente entre a taxa de mudança na saída e a taxa de mudança na entrada que a causou. Ambas, a entrada e a saída devem ser expressas na mesma unidade.

smar

## **TABELAS DOS TERMOPARES (TC)**

Valores da força eletromotriz (  $\mu V$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	-0,2	-0,5	-0,7	-0,9	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,7	-1,9	10
10	-1,9	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6	-2,6	20
20	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-2,5	-2,5	-2,4	-2,4	-2,3	-2,2	-2,1	30
30	-2,1	-2,0	-1,9	-1,8	-1,6	-1,4	-1,3	-1,1	-0,9	-0,7	-0,5	40
40	-0,5	-0,3	0,0	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,3	50
50	2,3	2,6	3,0	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,8	6,2	60
60	6,2	6,7	7,1	7,6	8,1	8,6	9,1	9,6	10,2	10,7	11,3	70
70	11,3	11,8	12,4	13,0	13,6	14,2	14,8	15,5	16,1	16,8	17,4	80
80	17,4	18,1	18,8	19,5	20,2	21,0	21,7	22,5	23,2	24,0	24,8	90
90	24,8	25,6	26,4	27,2	28,0	28,8	29,7	30,6	31,4	32,3	33,2	100
100	33,2	34,1	35,0	36,0	36,9	37,8	38,8	39,8	40,8	41,8	42,8	110
110	42,8	43,8	44,8	45,8	46,9	48,0	49,0	50,1	51,2	52,3	53,4	120
120	53,4	54,6	55,7	56,8	58,0	59,2	60,4	61,6	62,8	64,0	65,2	130
130	65,2	66,4	67,7	69,0	70,2	71,5	72,8	74,1	75,4	76,7	78,1	140
140	78,1	79,4	80,8	82,2	83,5	84,9	86,3	87,8	89,2	90,6	92,1	150
150	92,1	93,5	95,0	96,5	98,0	99,5	101,0	102,5	104,0	105,6	107,1	160
160	107,1	108,7	110,3	111,9	113,5	115,1	116,7	118,3	120,0	121,6	123,3	170
170	123,3	125,0	126,7	128,3	130,1	131,8	133,5	135,2	137,0	138,8	140,5	180
180	140,5	142,3	144,1	145,9	147,7	149,6	151,4	153,2	155,1	157,0	158,9	190
190	158,9	160,7	162,7	164,6	166,5	168,4	170,4	172,3	174,3	176,3	178,3	200
200	178,3	180,3	182,3	184,3	186,3	188,4	190,4	192,5	194,6	196,6	198,7	210
210	198,7	200,8	203,0	205,1	207,2	209,4	211,5	213,7	215,9	218,1	220,3	220
220	220,3	222,5	224,7	226,9	229,2	231,4	233,7	236,0	238,3	240,6	242,9	230
230	242,9	245,2	247,5	249,9	252,2	254,6	257,0	259,3	261,7	264,1	266,6	240
240	266,6	269,0	271,4	273,9	276,3	278,8	281,3	283,8	286,2	288,8	291,3	250
250	291,3	293,8	296,4	298,9	301,5	304,0	306,6	309,2	311,8	314,4	317,1	260
260	317,1	319,7	322,3	325,0	327,7	330,3	333,0	335,7	338,4	341,2	343,9	270
270	343,9	346,6	349,4	352,1	354,9	357,7	360,5	363,3	366,1	368,9	371,8	280
280	371,8	374,6	377,5	380,3	383,2	386,1	389,0	391,9	394,8	397,8	400,7	290
290	400,7	403,6	406,6	409,6	412,5	415,5	418,5	421,6	424,6	427,6	430,6	300
300	430,6	433,7	436,8	439,8	442,9	446,0	449,1	452,2	455,4	458,5	461,6	310
310	461,6	464,8	468,0	471,1	474,3	477,5	480,7	484,0	487,2	490,4	493,7	320
320	493,7	496,9	500,2	503,5	506,8	510,1	513,4	516,7	520,0	523,4	526,7	330
330	526,7	530,1	533,5	536,8	540,2	543,6	547,0	550,5	553,9	557,3	560,8	340
340	560,8	564,3	567,7	571,2	574,7	578,2	581,7	585,3	588,8	592,3	595,9	350
350	595,9	599,5	603,0	606,6	610,2	613,8	617,4	621,1	624,7	628,4	632,0	360
360	632,0	635,7	639,4	643,0	646,7	650,4	654,2	657,9	661,6	665,4	669,1	370
370	669,1	672,9	676,7	680,5	684,3	688,1	691,9	695,7	699,6	703,4	707,3	380
380	707,3	711,1	715,0	718,9	722,8	726,7	730,6	734,6	738,5	742,4	746,4	390
390	746,4	750,4	754,3	758,3	762,3	766,3	770,4	774,4	778,4	782,5	786,5	400
400	786,5	790,6	794,7	798,8	802,9	807,0	811,1	815,2	819,4	823,5	827,7	410
410	827,7	831,8	836,0	840,2	844,4	848,6	852,8	857,0	861,3	865,5	869,8	420
420	869,8	874,0	878,3	882,6	886,9	891,2	895,5	899,9	904,2	908,5	912,9	430
430	912,9	917,3	921,6	926,0	930,4	934,8	939,2	943,6	948,1	952,5	957,0	440
440	957,0	961,4	965,9	970,4	974,9	979,4	983,9	988,4	992,9	997,5	1.002,0	450
450	1.002,0	1.006,6	1.011,2	1.015,7	1.020,3	1.024,9	1.029,5	1.034,2	1.038,8	1.043,4	1.048,1	460
460	1.048,1	1.052,7	1.057,4	1.062,1	1.066,8	1.071,5	1.076,2	1.080,9	1.085,6	1.090,3	1.095,1	470
470	1.095,1	1.099,8	1.104,6	1.109,4	1.114,2	1.118,9	1.123,7	1.128,6	1.133,4	1.138,2	1.143,0	480
480	1.143,0	1.147,9	1.152,8	1.157,6	1.162,5	1.167,4	1.172,3	1.177,2	1.182,1	1.187,0	1.192,0	490
490	1.192,0	1.196,9	1.201,9	1.206,8	1.211,8	1.216,8	1.221,8	1.226,8	1.231,8	1.236,8	1.241,8	500
500	1.241,8	1.246,9	1.251,9	1.257,0	1.262,1	1.267,1	1.272,2	1.277,3	1.282,4	1.287,5	1.292,7	510
510	1.292,7	1.297,8	1.303,0	1.308,1	1.313,3	1.318,4	1.323,6	1.328,8	1.334,0	1.339,2	1.344,4	520
520	1.344,4	1.349,7	1.354,9	1.360,2	1.365,4	1.370,7	1.376,0	1.381,2	1.386,5	1.391,8	1.397,1	530
530	1.397,1	1.402,5	1.407,8	1.413,1	1.418,5	1.423,8	1.429,2	1.434,6	1.440,0	1.445,4	1.450,8	540
540	1.450,8	1.456,2	1.461,6	1.467,1	1.472,5	1.477,9	1.483,4	1.488,9	1.494,4	1.499,8	1.505,3	550
550	1.505,3	1.510,9	1.516,4	1.521,9	1.527,4	1.533,0	1.538,5	1.544,1	1.549,7	1.555,2	1.560,8	560
560	1.560,8	1.566,4	1.572,0	1.577,7	1.583,3	1.588,9	1.594,6	1.600,2	1.605,9	1.611,5	1.617,2	570
570	1.617,2	1.622,9	1.628,6	1.634,3	1.640,0	1.645,8	1.651,5	1.657,3	1.663,0	1.668,8	1.674,5	580
580	1.674,5	1.680,3	1.686,1	1.691,9	1.697,7	1.703,5	1.709,4	1.715,2	1.721,0	1.726,9	1.732,8	590
590	1.732,8	1.738,6	1.744,5	1.750,4	1.756,3	1.762,2	1.768,1	1.774,0	1.780,0	1.785,9	1.791,9	600
600	1.791,9	1.797,8	1.803,8	1.809,8	1.815,8	1.821,8	1.827,8	1.833,8	1.839,8	1.845,8	1.851,9	610
610	1.851,9	1.857,9	1.864,0	1.870,1	1.876,1	1.882,2	1.888,3	1.894,4	1.900,5	1.906,6	1.912,8	620
620	1.912,8	1.918,9	1.925,1	1.931,2	1.937,4	1.943,5	1.949,7	1.955,9	1.962,1	1.968,3	1.974,5	630
630	1.974,5	1.980,8	1.987,0	1.993,2	1.999,5	2.005,8	2.012,0	2.018,3	2.024,6	2.030,9	2.037,2	640
640	2.037,2	2.043,5	2.049,8	2.056,1	2.062,5	2.068,8	2.075,2	2.081,5	2.087,9	2.094,3	2.100,6	650
650	2.100,6	2.107,0	2.113,4	2.119,8	2.126,3	2.132,7	2.139,1	2.145,6	2.152,0	2.158,5	2.165,0	660
660	2.165,0	2.171,4	2.177,9	2.184,4	2.190,9	2.197,4	2.203,9	2.210,5	2.217,0	2.223,5	2.230,1	670
670	2.230,1	2.236,7	2.243,2	2.249,8	2.256,4	2.263,0	2.269,9	2.276,2	2.282,8	2.289,5	2.296,1	680
680	2.296,1	2.302,7	2.309,4	2.316,1	2.322,7	2.329,4	2.336,1	2.342,8	2.349,5	2.356,2	2.362,9	690
690	2.362,9	2.369,7	2.376,4	2.383,2	2.389,9	2.396,7	2.403,4	2.410,2	2.417,0	2.423,8	2.430,6	700
700	2.430,6	2.437,4	2.444,3	2.451,1	2.457,9	2.464,8	2.471,6	2.478,5	2.485,4	2.492,3	2.499,2	710
710	2.499,2	2.506,1	2.513,0	2.519,9	2.526,8	2.533,7	2.540,7	2.547,6	2.554,6	2.561,6	2.568,5	720
720	2.568,5	2.575,5	2.582,5	2.589,5	2.596,5	2.603,5	2.610,6	2.617,6	2.624,7	2.631,7	2.638,8	730
730	2.638,8	2.645,8	2.652,9	2.660,0	2.667,1	2.674,2	2.681,3	2.688,4	2.695,5	2.702,7	2.709,8	740
740	2.709,8	2.717,0	2.724,1	2.731,3	2.738,5	2.745,7	2.752,9	2.760,1	2.767,3	2.774,5	2.781,7	750

Valores da força eletromotriz (  $\mu\text{V}$  ), em função da temperatura.

 Junção de referência a  $0^\circ\text{C}$ 

<b>°C</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>°C</b>
750	2.781,7	2.789,0	2.796,2	2.803,5	2.810,7	2.818,0	2.825,3	2.832,6	2.839,8	2.847,2	2.854,5	760
760	2.854,5	2.861,8	2.869,1	2.876,4	2.883,8	2.891,1	2.898,5	2.905,9	2.913,2	2.920,6	2.928,0	770
770	2.928,0	2.935,4	2.942,8	2.950,2	2.957,7	2.965,1	2.972,6	2.980,0	2.987,5	2.994,9	3.002,4	780
780	3.002,4	3.009,9	3.017,4	3.024,9	3.032,4	3.039,9	3.047,4	3.055,0	3.062,5	3.070,0	3.077,6	790
790	3.077,6	3.085,2	3.092,7	3.100,3	3.107,9	3.115,5	3.123,1	3.130,7	3.138,3	3.146,0	3.153,6	800
800	3.153,6	3.161,3	3.168,9	3.176,6	3.184,2	3.191,9	3.199,6	3.207,3	3.215,0	3.222,7	3.230,4	810
810	3.230,4	3.238,2	3.245,9	3.253,6	3.261,4	3.269,1	3.276,9	3.284,7	3.292,5	3.300,2	3.308,0	820
820	3.308,0	3.315,8	3.323,7	3.331,5	3.339,3	3.347,1	3.355,0	3.362,8	3.370,7	3.378,6	3.386,4	830
830	3.386,4	3.394,3	3.402,2	3.410,1	3.418,0	3.425,9	3.433,9	3.441,8	3.449,7	3.457,7	3.465,6	840
840	3.465,6	3.473,6	3.481,6	3.489,5	3.497,5	3.505,5	3.513,5	3.521,5	3.529,6	3.537,6	3.545,6	850
850	3.545,6	3.553,7	3.561,7	3.569,8	3.577,8	3.585,9	3.594,0	3.602,1	3.610,1	3.618,2	3.626,4	860
860	3.626,4	3.634,5	3.642,6	3.650,7	3.658,9	3.667,0	3.675,2	3.683,3	3.691,5	3.699,7	3.707,9	870
870	3.707,9	3.716,1	3.724,3	3.732,5	3.740,7	3.748,9	3.757,1	3.765,4	3.773,6	3.781,9	3.790,1	880
880	3.790,1	3.798,4	3.806,7	3.815,0	3.823,3	3.831,6	3.839,9	3.848,2	3.856,5	3.864,8	3.873,2	890
890	3.873,2	3.881,5	3.889,9	3.898,2	3.906,6	3.915,0	3.923,3	3.931,7	3.940,1	3.948,5	3.956,9	900
900	3.956,9	3.965,4	3.973,8	3.982,2	3.990,7	3.999,1	4.007,6	4.016,0	4.024,5	4.033,0	4.041,5	910
910	4.041,5	4.050,0	4.058,5	4.067,0	4.075,5	4.084,0	4.092,5	4.101,1	4.109,6	4.118,2	4.126,7	920
920	4.126,7	4.135,3	4.143,8	4.152,4	4.161,0	4.169,6	4.178,2	4.186,8	4.195,4	4.204,1	4.212,7	930
930	4.212,7	4.221,3	4.230,0	4.238,6	4.247,3	4.255,9	4.264,6	4.273,3	4.282,0	4.290,7	4.299,4	940
940	4.299,4	4.308,1	4.316,8	4.325,5	4.334,3	4.343,0	4.351,7	4.360,5	4.369,3	4.378,0	4.386,8	950
950	4.386,8	4.395,6	4.404,4	4.413,2	4.422,0	4.430,8	4.439,6	4.448,4	4.457,2	4.466,1	4.474,9	960
960	4.474,9	4.483,8	4.492,6	4.501,5	4.510,4	4.519,2	4.528,1	4.537,0	4.545,9	4.554,8	4.563,7	970
970	4.563,7	4.572,6	4.581,6	4.590,5	4.599,5	4.608,4	4.617,4	4.626,3	4.635,3	4.644,3	4.653,2	980
980	4.653,2	4.662,2	4.671,2	4.680,2	4.689,2	4.698,3	4.707,3	4.716,3	4.725,4	4.734,4	4.743,4	990
990	4.743,4	4.752,5	4.761,6	4.770,6	4.779,7	4.788,8	4.797,9	4.807,0	4.816,1	4.825,2	4.834,3	1000
1000	4.834,3	4.843,5	4.852,6	4.861,7	4.870,9	4.880,0	4.889,2	4.898,4	4.907,5	4.916,7	4.925,9	1010
1010	4.925,9	4.935,1	4.944,3	4.953,5	4.962,7	4.971,9	4.981,2	4.990,4	4.999,6	5.008,9	5.018,1	1020
1020	5.018,1	5.027,4	5.036,7	5.045,9	5.055,2	5.064,5	5.073,8	5.083,1	5.092,4	5.101,7	5.111,0	1030
1030	5.111,0	5.120,4	5.129,7	5.139,0	5.148,4	5.157,7	5.167,1	5.176,5	5.185,8	5.195,2	5.204,6	1040
1040	5.204,6	5.214,0	5.223,4	5.232,8	5.242,2	5.251,6	5.261,1	5.270,5	5.279,9	5.289,4	5.298,8	1050
1050	5.298,8	5.308,3	5.317,8	5.327,2	5.336,7	5.346,2	5.355,7	5.365,2	5.374,7	5.384,2	5.393,7	1060
1060	5.393,7	5.403,2	5.412,7	5.422,3	5.431,8	5.441,4	5.450,9	5.460,5	5.470,0	5.479,6	5.489,2	1070
1070	5.489,2	5.498,8	5.508,4	5.518,0	5.527,6	5.537,2	5.546,8	5.556,4	5.566,1	5.575,7	5.585,3	1080
1080	5.585,3	5.595,0	5.604,7	5.614,3	5.624,0	5.633,7	5.643,3	5.653,0	5.662,7	5.672,4	5.682,1	1090
1090	5.682,1	5.691,8	5.701,5	5.711,3	5.721,0	5.730,7	5.740,5	5.750,2	5.760,0	5.769,7	5.779,5	1100
1100	5.779,5	5.789,3	5.799,1	5.808,9	5.818,6	5.828,4	5.838,3	5.848,1	5.857,9	5.867,7	5.877,5	1110
1110	5.877,5	5.887,4	5.897,2	5.907,1	5.916,9	5.926,8	5.936,6	5.946,5	5.956,4	5.966,3	5.976,2	1120
1120	5.976,2	5.986,1	5.996,0	6.005,9	6.015,8	6.025,7	6.035,6	6.045,6	6.055,5	6.065,4	6.075,4	1130
1130	6.075,4	6.085,3	6.095,3	6.105,3	6.115,3	6.125,2	6.135,2	6.145,2	6.155,2	6.165,2	6.175,2	1140
1140	6.175,2	6.185,2	6.195,3	6.205,3	6.215,3	6.225,4	6.235,4	6.245,5	6.255,5	6.265,6	6.275,6	1150
1150	6.275,6	6.285,7	6.295,8	6.305,9	6.316,0	6.326,1	6.336,2	6.346,3	6.356,4	6.366,5	6.376,7	1160
1160	6.376,7	6.386,8	6.396,9	6.407,1	6.417,2	6.427,4	6.437,5	6.447,7	6.457,9	6.468,1	6.478,3	1170
1170	6.478,3	6.488,4	6.498,6	6.508,8	6.519,0	6.529,3	6.539,5	6.549,7	6.559,9	6.570,2	6.580,4	1180
1180	6.580,4	6.590,7	6.600,9	6.611,2	6.621,4	6.631,7	6.642,0	6.652,3	6.662,6	6.672,8	6.683,1	1190
1190	6.683,1	6.693,4	6.703,8	6.714,1	6.724,4	6.734,7	6.745,0	6.755,4	6.765,7	6.776,1	6.786,4	1200
1200	6.786,4	6.796,8	6.807,2	6.817,5	6.827,9	6.838,3	6.848,7	6.859,1	6.869,5	6.879,9	6.890,3	1210
1210	6.890,3	6.900,7	6.911,1	6.921,5	6.932,0	6.942,4	6.952,8	6.963,3	6.973,7	6.984,2	6.994,6	1220
1220	6.994,6	7.005,1	7.015,6	7.026,1	7.036,5	7.047,0	7.057,5	7.068,0	7.078,5	7.089,0	7.099,6	1230
1230	7.099,6	7.110,1	7.120,6	7.131,1	7.141,7	7.152,2	7.162,8	7.173,3	7.183,9	7.194,4	7.205,0	1240
1240	7.205,0	7.215,6	7.226,2	7.236,7	7.247,3	7.257,9	7.268,5	7.279,1	7.289,7	7.300,3	7.311,0	1250
1250	7.311,0	7.321,6	7.332,2	7.342,8	7.353,5	7.364,1	7.374,8	7.385,4	7.396,1	7.406,8	7.417,4	1260
1260	7.417,4	7.428,1	7.438,8	7.449,5	7.460,2	7.470,9	7.481,6	7.492,3	7.503,0	7.513,7	7.524,4	1270
1270	7.524,4	7.535,1	7.545,9	7.556,6	7.567,3	7.578,1	7.588,8	7.599,6	7.610,3	7.621,1	7.631,9	1280
1280	7.631,9	7.642,6	7.653,4	7.664,2	7.675,0	7.685,8	7.696,6	7.707,4	7.718,2	7.729,0	7.739,8	1290
1290	7.739,8	7.750,6	7.761,5	7.772,3	7.783,1	7.794,0	7.804,8	7.815,7	7.826,5	7.837,4	7.848,2	1300
1300	7.848,2	7.859,1	7.870,0	7.880,9	7.891,7	7.902,6	7.913,5	7.924,4	7.935,3	7.946,2	7.957,1	1310
1310	7.957,1	7.968,0	7.979,0	7.989,9	8.000,8	8.011,7	8.022,7	8.033,6	8.044,6	8.055,5	8.066,5	1320
1320	8.066,5	8.077,4	8.088,4	8.099,4	8.110,3	8.121,3	8.132,3	8.143,3	8.154,3	8.165,3	8.176,2	1330
1330	8.176,2	8.187,3	8.198,3	8.209,3	8.220,3	8.231,3	8.242,3	8.253,4	8.264,4	8.275,4	8.286,5	1340
1340	8.286,5	8.297,5	8.308,6	8.319,6	8.330,7	8.341,7	8.352,8	8.363,9	8.374,9	8.386,0	8.397,1	1350
1350	8.397,1	8.408,2	8.419,3	8.430,4	8.441,5	8.452,6	8.463,7	8.474,8	8.485,9	8.497,0	8.508,2	1360
1360	8.508,2	8.519,3	8.530,4	8.541,5	8.552,7	8.563,8	8.575,0	8.586,1	8.597,3	8.608,4	8.619,6	1370
1370	8.619,6	8.630,8	8.641,9	8.653,1	8.664,3	8.675,5	8.686,7	8.697,8	8.709,0	8.720,2	8.731,4	1380
1380	8.731,4	8.742,6	8.753,8	8.765,1	8.776,3	8.787,5	8.798,7	8.809,9	8.821,2	8.832,4	8.843,6	1390
1390	8.843,6	8.854,9	8.866,1	8.877,4	8.888,6	8.899,9	8.911,1	8.922,4	8.933,7	8.944,9	8.956,2	1400
1400	8.956,2	8.967,5	8.978,8	8.990,1	9.001,3	9.012,6	9.023,9	9.035,2	9.046,5	9.057,8	9.069,1	1410
1410	9.069,1	9.080,5	9.091,8	9.103,1	9.114,4	9.125,7	9.137,1	9.148,4	9.159,7	9.171,1	9.182,4	1420
1420	9.182,4	9.193,7	9.205,1	9.216,4	9.227,8	9.239,2	9.250,5	9.261,9	9.273,3	9.284,6	9.296,0	1430
1430	9.296,0	9.307,4	9.318,7	9.330,1	9.341,5	9.352,9	9.364,3	9.375,7	9.387,1	9.398,5	9.409,9	1440
1440	9.409,9	9.421,3	9.432,7	9.444,1	9.455,5	9.467,0	9.478,4	9.489,8	9.501,2	9.512,7	9.524,1	1450
1450	9.524,1	9.535,5	9.547,0	9.558,4	9.569,8	9.581,3	9.592,7	9.604,2	9.615,7	9.627,1	9.638,6	1460
1460	9.638,6	9.650,0	9.661,5	9.673,0	9.684,4	9.695,9	9.707,4	9.718,9	9.730,4	9.741,8	9.753,3	1470
1470	9.753,3	9.764,8	9.776,3	9.787,8	9.799,3	9.810,8	9.822,3	9.833,8	9.845,3	9.856,8	9.868,3	1480
1480	9.868,3	9.879,8	9.891,4	9.902,9	9.914,4	9.925,9	9.937,5	9.949,0	9.960,5	9.972,0	9.983,6	1490
1490	9.983,6	9.995,1	10.006,7	10.018,2	10.029,7	10.041,3	10.052,8	10.064,4	10.075,9	10.087,5	10.099,1	1500

Valores da força eletromotriz ( $\mu\text{V}$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a  $0^\circ\text{C}$

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
1500	10.099,1	10.110,6	10.122,2	10.133,7	10.145,3	10.156,9	10.168,5	10.180,0	10.191,6	10.203,2	10.214,8	1510
1510	10.214,8	10.226,3	10.237,9	10.249,5	10.261,1	10.272,7	10.284,3	10.295,9	10.307,4	10.319,0	10.330,6	1520
1520	10.330,6	10.342,2	10.353,8	10.365,4	10.377,0	10.388,7	10.400,3	10.411,9	10.423,5	10.435,1	10.446,7	1530
1530	10.446,7	10.458,3	10.469,9	10.481,6	10.493,2	10.504,8	10.516,4	10.528,1	10.539,7	10.551,3	10.562,9	1540
1540	10.562,9	10.574,6	10.586,2	10.597,8	10.609,5	10.621,1	10.632,8	10.644,4	10.656,0	10.667,7	10.679,3	1550
1550	10.679,3	10.691,0	10.702,6	10.714,3	10.725,9	10.737,6	10.749,2	10.760,9	10.772,5	10.784,2	10.795,9	1560
1560	10.795,9	10.807,5	10.819,2	10.830,8	10.842,5	10.854,2	10.865,8	10.877,5	10.889,2	10.900,8	10.912,5	1570
1570	10.912,5	10.924,2	10.935,8	10.947,5	10.959,2	10.970,9	10.982,5	10.994,2	11.005,9	11.017,6	11.029,3	1580
1580	11.029,3	11.040,9	11.052,6	11.064,3	11.076,0	11.087,7	11.099,3	11.111,0	11.122,7	11.134,4	11.146,1	1590
1590	11.146,1	11.157,8	11.169,5	11.181,2	11.192,8	11.204,5	11.216,2	11.227,9	11.239,6	11.251,3	11.263,0	1600
1600	11.263,0	11.274,7	11.286,4	11.298,1	11.309,8	11.321,5	11.333,2	11.344,9	11.356,6	11.368,3	11.380,0	1610
1610	11.380,0	11.391,7	11.403,4	11.415,1	11.426,8	11.438,5	11.450,2	11.461,9	11.473,6	11.485,3	11.497,0	1620
1620	11.497,0	11.508,7	11.520,4	11.532,1	11.543,8	11.555,5	11.567,2	11.578,9	11.590,6	11.602,3	11.619,0	1630
1630	11.614,0	11.625,7	11.637,4	11.649,1	11.660,8	11.672,5	11.684,2	11.695,9	11.707,6	11.719,3	11.731,1	1640
1640	11.731,1	11.742,8	11.754,5	11.766,2	11.777,9	11.789,6	11.801,3	11.813,0	11.824,7	11.836,4	11.848,1	1650
1650	11.848,1	11.859,8	11.871,5	11.883,2	11.894,9	11.906,6	11.918,3	11.930,0	11.941,7	11.953,4	11.965,1	1660
1660	11.965,1	11.976,8	11.988,5	12.000,2	12.011,9	12.023,6	12.035,3	12.047,0	12.058,7	12.070,4	12.082,1	1670
1670	12.082,1	12.093,8	12.105,4	12.117,1	12.128,8	12.140,5	12.152,2	12.163,9	12.175,6	12.187,3	12.199,0	1680
1680	12.199,0	12.210,7	12.222,3	12.234,0	12.245,7	12.257,4	12.269,1	12.280,8	12.292,4	12.304,1	12.315,8	1690
1690	12.315,8	12.327,5	12.339,2	12.350,8	12.362,5	12.374,2	12.385,9	12.397,5	12.409,2	12.420,9	12.432,5	1700
1700	12.432,5	12.444,2	12.455,9	12.467,5	12.479,2	12.490,9	12.502,5	12.514,2	12.525,9	12.537,5	12.549,2	1710
1710	12.549,2	12.560,8	12.572,5	12.584,1	12.595,8	12.607,5	12.619,1	12.630,8	12.642,4	12.654,0	12.665,7	1720
1720	12.665,7	12.677,3	12.689,0	12.700,6	12.712,3	12.723,9	12.735,5	12.747,2	12.758,8	12.770,4	12.782,1	1730
1730	12.782,1	12.793,7	12.805,3	12.816,9	12.828,6	12.840,2	12.851,8	12.863,4	12.875,0	12.886,7	12.898,3	1740
1740	12.898,3	12.909,9	12.921,5	12.933,1	12.944,7	12.956,3	12.967,9	12.979,5	12.991,1	13.002,7	13.014,3	1750
1750	13.014,3	13.025,9	13.037,5	13.049,1	13.060,7	13.072,3	13.083,8	13.095,4	13.107,0	13.118,6	13.130,2	1760
1760	13.130,2	13.141,7	13.153,3	13.164,9	13.176,4	13.188,0	13.199,6	13.211,1	13.222,7	13.234,2	13.245,8	1770
1770	13.245,8	13.257,4	13.268,9	13.280,5	13.292,0	13.303,5	13.315,1	13.326,6	13.338,2	13.349,7	13.361,2	1780
1780	13.361,2	13.372,7	13.384,3	13.395,8	13.407,3	13.418,8	13.430,4	13.441,9	13.453,4	13.464,9	13.476,4	1790
1790	13.476,4	13.487,9	13.499,4	13.510,9	13.522,4	13.533,9	13.545,4	13.556,9	13.568,3	13.579,8	13.591,3	1800
1800	13.591,3	13.602,8	13.614,3	13.625,7	13.637,2	13.648,7	13.660,1	13.671,6	13.683,0	13.694,5	13.705,9	1810
1810	13.705,9	13.717,4	13.728,8	13.740,3	13.751,7	13.763,1	13.774,6	13.786,0	13.797,4	13.808,9	13.820,3	1820
1820	13.820,3											

Valores da força eletromotriz (  $\mu V$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a  $0^{\circ}C$

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-260	-9.796,6	-9.802,3	-9.807,6	-9.812,6	-9.817,1	-9.821,2	-9.824,8	-9.828,1	-9.830,8	-9.833,1	-9.835,0	-270
-250	-9.718,4	-9.727,9	-9.737,0	-9.745,8	-9.754,1	-9.762,2	-9.769,8	-9.777,1	-9.784,0	-9.790,5	-9.796,6	-260
-240	-9.603,9	-9.617,0	-9.629,7	-9.642,0	-9.654,0	-9.665,6	-9.676,9	-9.687,8	-9.698,4	-9.708,6	-9.718,4	-250
-230	-9.455,0	-9.471,4	-9.487,4	-9.503,2	-9.518,6	-9.533,7	-9.548,4	-9.562,8	-9.576,8	-9.590,6	-9.603,9	-240
-220	-9.273,8	-9.293,3	-9.312,5	-9.331,4	-9.350,0	-9.368,3	-9.386,3	-9.403,9	-9.421,3	-9.438,3	-9.455,0	-230
-210	-9.062,9	-9.085,2	-9.107,3	-9.129,1	-9.150,6	-9.171,9	-9.192,9	-9.213,5	-9.233,9	-9.254,0	-9.273,8	-220
-200	-8.824,6	-8.849,6	-8.874,3	-8.898,8	-8.923,0	-8.947,0	-8.970,7	-8.994,2	-9.017,3	-9.040,2	-9.062,9	-210
-190	-8.560,9	-8.588,4	-8.615,6	-8.642,6	-8.669,3	-8.695,8	-8.722,1	-8.748,1	-8.773,8	-8.799,3	-8.824,6	-200
-180	-8.273,4	-8.303,2	-8.332,8	-8.362,1	-8.391,2	-8.420,1	-8.448,7	-8.477,1	-8.505,3	-8.533,2	-8.560,9	-190
-170	-7.963,3	-7.995,3	-8.027,1	-8.058,7	-8.090,0	-8.121,1	-8.152,0	-8.182,7	-8.213,2	-8.243,4	-8.273,4	-180
-160	-7.631,6	-7.665,7	-7.699,6	-7.733,3	-7.766,8	-7.800,1	-7.833,2	-7.866,0	-7.898,7	-7.931,1	-7.963,3	-170
-150	-7.279,3	-7.315,5	-7.351,4	-7.387,1	-7.422,7	-7.458,0	-7.493,1	-7.528,1	-7.562,8	-7.597,3	-7.631,6	-160
-140	-6.907,3	-6.945,4	-6.983,3	-7.020,9	-7.058,4	-7.095,7	-7.132,9	-7.169,8	-7.206,5	-7.243,0	-7.279,3	-150
-130	-6.516,4	-6.556,3	-6.596,1	-6.635,6	6.675,0	-6.714,2	-6.753,2	-6.792,0	-6.830,6	-6.869,1	-6.907,3	-140
-120	-6.107,3	-6.149,0	-6.190,5	-6.231,9	-6.273,1	-6.314,1	-6.354,9	-6.395,5	-6.436,0	-6.476,3	-6.516,4	-130
-110	-5.680,7	-5.724,1	-5.767,4	-5.810,5	-5.853,4	-5.896,1	-5.938,7	-5.981,1	-6.023,4	-6.065,4	-6.107,3	-120
-100	-5.237,2	-5.282,3	-5.327,2	-5.372,0	-5.416,6	-5.461,0	-5.505,3	-5.549,4	-5.593,3	-5.637,1	-5.680,7	-110
-90	-4.777,4	-4.824,1	-4.870,6	-4.917,0	-4.963,2	-5.009,3	-5.055,2	-5.100,9	-5.146,5	-5.191,9	-5.237,2	-100
-80	-4.301,9	-4.350,1	-4.398,2	-4.446,2	-4.493,9	-4.541,6	-4.589,0	-4.636,4	-4.683,5	-4.730,5	-4.777,4	-90
-70	-3.811,3	-3.861,0	-3.910,6	-3.960,0	-4.009,3	-4.058,5	-4.107,4	-4.156,3	-4.205,0	-4.253,5	-4.301,9	-80
-60	-3.306,2	-3.357,4	-3.408,4	-3.459,2	-3.510,0	-3.560,5	-3.611,0	-3.661,3	-3.711,4	-3.761,4	-3.811,3	-70
-50	-2.787,2	-2.839,7	-2.892,1	-2.944,3	-2.996,5	-3.048,4	-3.100,3	-3.152,0	-3.203,5	-3.254,9	-3.306,2	-60
-40	-2.254,8	-2.308,6	-2.362,3	-2.415,9	-2.469,3	-2.522,7	-2.575,8	-2.628,9	-2.681,8	-2.734,6	-2.787,2	-50
-30	-1.709,5	-1.764,6	-1.819,6	-1.874,4	-1.929,1	-1.983,7	-2.038,2	-2.092,5	-2.146,8	-2.200,9	-2.254,8	-40
-20	-1.151,6	-1.208,0	-1.264,2	-1.320,3	-1.376,2	-1.432,1	-1.487,8	-1.543,4	-1.598,9	-1.654,3	-1.709,5	-30
-10	-581,5	-639,1	-696,5	-753,8	-811,0	-868,1	-925,0	-981,9	-1.038,6	-1.095,2	-1.151,6	-20
0	0,0	-58,6	-117,1	-175,6	-233,9	-292,1	-350,2	-408,2	-466,1	-523,9	-581,5	-10

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	58,7	117,5	176,4	235,4	294,5	353,6	412,9	472,2	531,7	591,2	10
10	591,2	650,8	710,5	770,3	830,2	890,2	950,3	1.010,4	1.070,7	1.131,1	1.191,5	20
20	1.191,5	1.252,0	1.312,7	1.373,4	1.434,2	1.495,1	1.556,1	1.617,2	1.678,4	1.739,7	1.801,0	30
30	1.801,0	1.862,5	1.924,0	1.985,7	2.047,4	2.109,2	2.171,2	2.233,2	2.295,3	2.357,5	2.419,7	40
40	2.419,7	2.482,1	2.544,6	2.607,1	2.669,8	2.732,5	2.795,4	2.858,3	2.921,3	2.984,4	3.047,6	50
50	3.047,6	3.110,9	3.174,3	3.237,7	3.301,3	3.364,9	3.428,7	3.492,5	3.556,4	3.620,4	3.684,5	60
60	3.684,5	3.748,7	3.813,0	3.877,3	3.941,8	4.006,3	4.070,9	4.135,6	4.200,4	4.265,3	4.330,3	70
70	4.330,3	4.395,3	4.460,5	4.525,7	4.591,0	4.656,5	4.721,9	4.787,5	4.853,2	4.918,9	4.984,8	80
80	4.984,8	5.050,7	5.116,7	5.182,8	5.248,9	5.315,2	5.381,5	5.448,0	5.514,5	5.581,1	5.647,7	90
90	5.647,7	5.714,5	5.781,3	5.848,2	5.915,2	5.982,3	6.049,5	6.116,7	6.184,0	6.251,4	6.318,9	100
100	6.318,9	6.386,5	6.454,1	6.521,9	6.589,7	6.657,5	6.725,5	6.793,5	6.861,6	6.929,8	6.998,1	110
110	6.998,1	7.066,5	7.134,9	7.203,4	7.271,9	7.340,6	7.409,3	7.478,1	7.547,0	7.616,0	7.685,0	120
120	7.685,0	7.754,1	7.823,2	7.892,5	7.961,8	8.031,2	8.100,7	8.170,2	8.239,8	8.309,5	8.379,2	130
130	8.379,2	8.449,1	8.519,0	8.588,9	8.659,0	8.729,1	8.799,2	8.869,5	8.939,8	9.010,2	9.080,6	140
140	9.080,6	9.151,1	9.221,7	9.292,4	9.363,1	9.433,9	9.504,7	9.575,7	9.646,6	9.717,7	9.788,8	150
150	9.788,8	9.860,0	9.931,2	10.002,6	10.073,9	10.145,4	10.216,9	10.288,4	10.360,1	10.431,7	10.503,5	160
160	10.503,5	10.575,3	10.647,2	10.719,1	10.791,1	10.863,2	10.935,3	11.007,5	11.079,7	11.152,0	11.224,4	170
170	11.224,4	11.296,8	11.369,3	11.441,8	11.514,4	11.587,1	11.659,8	11.732,5	11.805,4	11.878,2	11.951,2	180
180	11.951,2	12.024,2	12.097,2	12.170,3	12.243,5	12.316,7	12.390,0	12.463,3	12.536,7	12.610,1	12.683,6	190
190	12.683,6	12.757,1	12.830,7	12.904,3	12.978,0	13.051,8	13.125,6	13.199,4	13.273,3	13.347,3	13.421,3	200
200	13.421,3	13.495,4	13.569,5	13.643,6	13.717,8	13.792,1	13.866,4	13.940,7	14.015,1	14.089,6	14.164,1	210
210	14.164,1	14.238,6	14.313,2	14.387,9	14.462,5	14.537,3	14.612,1	14.686,9	14.761,8	14.836,7	14.911,6	220
220	14.911,6	14.986,6	15.061,7	15.136,8	15.211,9	15.287,1	15.362,4	15.437,6	15.513,0	15.588,3	15.663,7	230
230	15.663,7	15.739,2	15.814,7	15.890,2	15.965,8	16.041,4	16.117,1	16.192,8	16.268,5	16.344,3	16.420,1	240
240	16.420,1	16.496,0	16.571,9	16.647,8	16.723,8	16.799,9	16.875,9	16.952,0	17.028,2	17.104,3	17.180,6	250
250	17.180,6	17.256,8	17.333,1	17.409,5	17.485,8	17.562,2	17.638,7	17.715,2	17.791,7	17.868,2	17.944,8	260
260	17.944,8	18.021,5	18.098,1	18.174,8	18.251,6	18.328,4	18.405,2	18.482,0	18.558,9	18.635,8	18.712,7	270
270	18.712,7	18.789,7	18.866,7	18.943,8	19.020,9	19.098,0	19.175,1	19.252,3	19.329,5	19.406,8	19.484,1	280
280	19.484,1	19.561,4	19.638,7	19.716,1	19.793,5	19.871,0	19.948,4	20.025,9	20.103,5	20.181,0	20.258,6	290
290	20.258,6	20.336,3	20.413,9	20.491,6	20.569,3	20.647,1	20.724,8	20.802,6	20.880,5	20.958,3	21.036,2	300
300	21.036,2	21.114,2	21.192,1	21.270,1	21.348,1	21.426,1	21.504,2	21.582,3	21.660,4	21.738,6	21.816,7	310
310	21.816,7	21.894,9	21.973,2	22.051,4	22.129,7	22.208,0	22.286,3	22.364,7	22.443,1	22.521,5	22.599,9	320
320	22.599,9	22.678,4	22.756,9	22.835,4	22.914,0	22.992,5	23.071,1	23.149,7	23.228,4	23.307,0	23.385,7	330
330	23.385,7	23.464,4	23.543,2	23.621,9	23.700,7	23.779,5	23.858,4	23.937,2	24.016,1	24.095,0	24.173,9	340
340	24.173,9	24.252,9	24.331,8	24.410,8	24.489,8	24.568,9	24.647,9	24.727,0	24.806,1	24.885,2	24.964,4	350
350	24.964,4	25.043,5	25.122,7	25.201,9	25.281,2	25.360,4	25.439,7	25.519,0	25.598,3	25.677,6	25.757,0	360
360	25.757,0	25.836,3	25.915,7	25.995,1	26.074,6	26.154,0	26.233,5	26.313,0	26.392,5	26.472,0	26.551,5	370
370	26.551,5	26.631,1	26.710,7	26.790,3	26.869,9	26.949,5	27.029,2	27.108,9	27.188,6	27.268,3	27.348,0	380
380	27.348,0	27.427,7	27.507,5	27.587,3	27.667,1	27.746,9	27.826,7	27.906,5	27.986,4	28.066,3	28.146,2	390
390	28.146,2	28.226,1	28.306,0	28.385,9	28.465,9	28.545,9	28.625,9	28.705,9	28.785,9	28.865,9	28.946,0	400
400	28.946,0	29.026,0	29.106,1	29.186,2	29.266,3	29.346,4	29.426,6	29.506,7	29.586,9	29.667,1	29.747,2	410
410	29.747,2	29.827,4	29.907,7	29.987,9	30.068,1	30.148,4	30.228,7	30.309,0	30.389,3	30.469,6	30.549,9	420
420	30.549,9	30.630,2	30.710,6	30.790,9	30.871,3	30.951,7	31.032,1	31.112,5	31.192,9	31.273,3	31.353,8	430
430	31.353,8	31.434,2	31.514,7	31.595,1	31.675,6	31.756,1	31.836,6	31.917,1	31.997,7	32.078,2	32.158,8	440
440	32.158,8	32.239,3	32.319,9	32.400,5	32.481,0	32.561,6	32.642,2	32.722,9	32.803,5	32.884,1	32.964,7	450
450	32.964,7	33.045,4	33.126,1	33.206,7	33.287,4	33.368,1	33.448,8	33.529,5	33.610,2	33.690,9	33.771,6	460
460	33.771,6	33.852,3	33.933,1	34.013,8	34.094,6	34.175,3	34.256,1	34.336,9	34.417,6	34.498,4	34.579,2	470
470	34.579,2	34.660,0	34.740,8	34.821,6	34.902,4	34.983,3	35.064,1	35.144,9	35.225,8	35.306,6	35.387,5	480

Valores da força eletromotriz (  $\mu V$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
480	35.387,5	35.468,3	35.549,2	35.630,0	35.710,9	35.791,8	35.872,7	35.953,5	36.034,4	36.115,3	36.196,2	490
490	36.196,2	36.277,1	36.358,0	36.438,9	36.519,8	36.600,7	36.681,7	36.762,6	36.843,5	36.924,4	37.005,4	500
500	37.005,4	37.086,3	37.167,2	37.248,2	37.329,1	37.410,0	37.491,0	37.571,9	37.652,9	37.733,8	37.814,8	510
510	37.814,8	37.895,7	37.976,7	38.057,6	38.138,6	38.219,5	38.300,5	38.381,5	38.462,4	38.543,4	38.624,3	520
520	38.624,3	38.705,3	38.786,3	38.867,2	38.948,2	39.029,1	39.110,1	39.191,1	39.272,0	39.353,0	39.433,9	530
530	39.433,9	39.514,9	39.595,9	39.676,8	39.757,8	39.838,7	39.919,7	40.000,6	40.081,6	40.162,5	40.243,5	540
540	40.243,5	40.324,4	40.405,4	40.486,3	40.567,3	40.648,2	40.729,1	40.810,1	40.891,0	40.971,9	41.052,8	550
550	41.052,8	41.133,8	41.214,7	41.295,6	41.376,5	41.457,4	41.538,3	41.619,2	41.700,1	41.781,0	41.861,9	560
560	41.861,9	41.942,8	42.023,7	42.104,6	42.185,4	42.266,3	42.347,2	42.428,0	42.508,9	42.589,7	42.670,6	570
570	42.670,6	42.751,4	42.832,3	42.913,1	42.993,9	43.074,7	43.155,6	43.236,4	43.317,2	43.398,0	43.478,8	580
580	43.478,8	43.559,6	43.640,4	43.721,1	43.801,9	43.882,7	43.963,4	44.044,2	44.124,9	44.205,7	44.286,4	590
590	44.286,4	44.367,1	44.447,8	44.528,6	44.609,3	44.690,0	44.770,7	44.851,3	44.932,0	45.012,7	45.093,4	600
600	45.093,4	45.174,0	45.254,7	45.335,3	45.415,9	45.496,6	45.577,2	45.657,8	45.738,4	45.819,0	45.899,6	610
610	45.899,6	45.980,2	46.060,7	46.141,3	46.221,8	46.302,4	46.382,9	46.463,4	46.544,0	46.624,5	46.705,0	620
620	46.705,0	46.785,5	46.866,0	46.946,4	47.026,9	47.107,4	47.187,8	47.268,2	47.348,7	47.429,1	47.509,5	630
630	47.509,5	47.589,9	47.670,3	47.750,7	47.831,0	47.911,4	47.991,8	48.072,1	48.152,4	48.232,8	48.313,1	640
640	48.313,1	48.393,4	48.473,7	48.554,0	48.634,2	48.714,5	48.794,8	48.875,0	48.955,2	49.035,5	49.115,7	650
650	49.115,7	49.195,9	49.276,1	49.356,2	49.436,4	49.516,6	49.596,7	49.676,9	49.757,0	49.837,1	49.917,2	660
660	49.917,2	49.997,3	50.077,4	50.157,5	50.237,5	50.317,6	50.397,6	50.477,7	50.557,7	50.637,7	50.717,7	670
670	50.717,7	50.797,7	50.877,7	50.957,6	51.037,6	51.117,5	51.197,5	51.277,4	51.357,3	51.437,2	51.517,1	680
680	51.517,1	51.596,9	51.676,8	51.756,7	51.836,5	51.916,3	51.996,2	52.076,0	52.155,8	52.235,5	52.315,3	690
690	52.315,3	52.395,1	52.474,8	52.554,6	52.634,3	52.714,0	52.793,7	52.873,4	52.953,1	53.032,7	53.112,4	700
700	53.112,4	53.192,0	53.271,7	53.351,3	53.430,9	53.510,5	53.590,1	53.669,7	53.749,2	53.828,8	53.908,3	710
710	53.908,3	53.987,8	54.067,3	54.146,8	54.226,3	54.305,8	54.385,3	54.464,7	54.544,2	54.623,6	54.703,0	720
720	54.703,0	54.782,4	54.861,8	54.941,2	55.020,6	55.100,0	55.179,3	55.258,6	55.338,0	55.417,3	55.496,6	730
730	55.496,6	55.575,9	55.655,1	55.734,4	55.813,7	55.892,9	55.972,1	56.051,3	56.130,6	56.209,7	56.288,9	740
740	56.288,9	56.368,1	56.447,2	56.526,4	56.605,5	56.684,6	56.763,8	56.842,8	56.921,9	57.001,0	57.080,1	750
750	57.080,1	57.159,1	57.238,1	57.317,2	57.396,2	57.475,2	57.554,2	57.633,1	57.712,1	57.791,1	57.870,0	760
760	57.870,0	57.948,9	58.027,8	58.106,7	58.185,6	58.264,5	58.343,4	58.422,2	58.501,1	58.579,9	58.658,7	770
770	58.658,7	58.737,5	58.816,3	58.895,1	58.973,8	59.052,6	59.131,3	59.210,1	59.288,8	59.367,5	59.446,2	780
780	59.446,2	59.524,9	59.603,5	59.682,2	59.760,8	59.839,5	59.918,1	59.996,7	60.075,3	60.153,8	60.232,4	790
790	60.232,4	60.311,0	60.389,5	60.468,0	60.546,6	60.625,1	60.703,5	60.782,0	60.860,5	60.938,9	61.017,4	800
800	61.017,4	61.095,8	61.174,2	61.252,6	61.331,0	61.409,4	61.487,7	61.566,1	61.644,4	61.722,7	61.801,0	810
810	61.801,0	61.879,3	61.957,6	62.035,9	62.114,1	62.192,4	62.270,6	62.348,8	62.427,0	62.505,2	62.583,4	820
820	62.583,4	62.661,5	62.739,7	62.817,8	62.895,9	62.974,0	63.052,1	63.130,2	63.208,2	63.286,3	63.364,3	830
830	63.364,3	63.442,3	63.520,3	63.598,3	63.676,3	63.754,2	63.832,2	63.910,1	63.988,0	64.065,9	64.143,8	840
840	64.143,8	64.221,7	64.299,5	64.377,3	64.455,2	64.533,0	64.610,8	64.688,5	64.766,3	64.844,1	64.921,8	850
850	64.921,8	64.999,5	65.077,2	65.154,9	65.232,6	65.310,2	65.387,8	65.465,5	65.543,1	65.620,6	65.698,2	860
860	65.698,2	65.775,8	65.853,3	65.930,8	66.008,3	66.085,8	66.163,3	66.240,7	66.318,2	66.395,6	66.473,0	870
870	66.473,0	66.550,4	66.627,7	66.705,1	66.782,4	66.859,7	66.937,0	67.014,3	67.091,6	67.168,8	67.246,0	880
880	67.246,0	67.323,2	67.400,4	67.477,6	67.554,8	67.631,9	67.709,0	67.786,1	67.863,2	67.940,2	68.017,3	890
890	68.017,3	68.094,3	68.171,3	68.248,3	68.325,2	68.402,2	68.479,1	68.556,0	68.632,9	68.709,7	68.786,6	900
900	68.786,6	68.863,4	68.940,2	69.017,0	69.093,8	69.170,5	69.247,2	69.323,9	69.400,6	69.477,3	69.553,9	910
910	69.553,9	69.630,6	69.707,2	69.783,7	69.860,3	69.936,9	70.013,4	70.089,9	70.166,4	70.242,8	70.319,2	920
920	70.319,2	70.395,7	70.472,1	70.548,4	70.624,8	70.701,1	70.777,4	70.853,7	70.930,0	71.006,2	71.082,5	930
930	71.082,5	71.158,7	71.234,9	71.311,0	71.387,2	71.463,3	71.539,4	71.615,5	71.691,5	71.767,6	71.843,6	940
940	71.843,6	71.919,6	71.995,6	72.071,5	72.147,5	72.223,4	72.299,3	72.375,2	72.451,0	72.526,8	72.602,7	950
950	72.602,7	72.678,5	72.754,2	72.830,0	72.905,7	72.981,4	73.057,1	73.132,8	73.208,5	73.284,1	73.359,7	960
960	73.359,7	73.435,3	73.510,9	73.586,5	73.662,0	73.737,6	73.813,1	73.888,6	73.964,1	74.039,5	74.115,0	970
970	74.115,0	74.190,4	74.265,8	74.341,2	74.416,6	74.492,0	74.567,4	74.642,7	74.718,0	74.793,4	74.868,7	980
980	74.868,7	74.944,0	75.019,2	75.094,5	75.169,8	75.245,0	75.320,2	75.395,5	75.470,7	75.545,9	75.621,1	990
990	75.621,1	75.696,3	75.771,5	75.846,7	75.921,8	75.997,0	76.072,2	76.147,4	76.222,5	76.297,7	76.372,8	1000
1000	76.372,8											

Valores da força eletromotriz (  $\mu\text{V}$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-200	-7.890,5	-7.912,2	-7.933,7	-7.954,8	-7.975,7	-7.996,4	-8.016,7	-8.036,8	-8.056,6	-8.076,1	-8.095,4	-210
-190	-7.658,9	-7.683,2	-7.707,3	-7.731,1	-7.754,6	-7.777,9	-7.801,0	-7.823,7	-7.846,2	-7.868,5	-7.890,5	-200
-180	-7.402,5	-7.429,2	-7.455,7	-7.482,0	-7.508,0	-7.533,7	-7.559,3	-7.584,5	-7.609,6	-7.634,4	-7.658,9	-190
-170	-7.122,8	-7.151,8	-7.180,5	-7.209,1	-7.237,4	-7.265,5	-7.293,3	-7.321,0	-7.348,4	-7.375,6	-7.402,5	-180
-160	-6.821,4	-6.852,5	-6.883,4	-6.914,0	-6.944,5	-6.974,7	-7.004,8	-7.034,6	-7.064,2	-7.093,6	-7.122,8	-170
-150	-6.499,8	-6.532,8	-6.565,7	-6.598,3	-6.630,8	-6.663,0	-6.695,1	-6.727,0	-6.758,7	-6.790,2	-6.821,4	-160
-140	-6.159,2	-6.194,1	-6.228,8	-6.263,3	-6.297,6	-6.331,8	-6.365,8	-6.399,5	-6.433,1	-6.466,6	-6.499,8	-150
-130	-5.801,1	-5.837,6	-5.874,1	-5.910,3	-5.946,4	-5.982,3	-6.018,0	-6.053,6	-6.089,0	-6.124,2	-6.159,2	-140
-120	-5.426,5	-5.464,7	-5.502,7	-5.540,5	-5.578,2	-5.615,8	-5.653,1	-5.690,4	-5.727,4	-5.764,3	-5.801,1	-130
-110	-5.036,6	-5.076,3	-5.115,8	-5.155,1	-5.194,3	-5.233,4	-5.272,3	-5.311,1	-5.349,7	-5.388,2	-5.426,5	-120
-100	-4.632,5	-4.673,5	-4.714,4	-4.755,2	-4.795,8	-4.836,3	-4.876,6	-4.916,8	-4.956,9	-4.996,8	-5.036,6	-110
-90	-4.215,2	-4.257,5	-4.299,7	-4.341,7	-4.383,6	-4.425,5	-4.467,1	-4.508,7	-4.550,4	-4.591,4	-4.632,5	-100
-80	-3.785,5	-3.829,0	-3.872,4	-3.915,7	-3.958,8	-4.001,8	-4.044,8	-4.087,5	-4.130,2	-4.172,8	-4.215,2	-90
-70	-3.344,5	-3.389,1	-3.433,6	-3.477,9	-3.522,2	-3.566,4	-3.610,4	-3.654,4	-3.698,2	-3.741,9	-3.785,5	-80
-60	-2.892,8	-2.938,4	-2.983,9	-3.029,4	-3.074,7	-3.119,9	-3.165,0	-3.210,0	-3.255,0	-3.299,8	-3.344,5	-70
-50	-2.431,3	-2.477,8	-2.524,3	-2.570,7	-2.617,0	-2.663,2	-2.709,3	-2.755,3	-2.801,3	-2.847,2	-2.892,8	-60
-40	-1.960,6	-2.008,1	-2.055,5	-2.102,8	-2.149,9	-2.197,1	-2.244,1	-2.291,0	-2.337,9	-2.384,6	-2.431,3	-50
-30	-1.481,6	-1.529,8	-1.578,0	-1.626,1	-1.674,2	-1.722,1	-1.770,0	-1.817,8	-1.865,5	-1.913,1	-1.960,6	-40
-20	-994,7	-1.043,7	-1.092,7	-1.141,6	-1.190,4	-1.239,1	-1.287,7	-1.336,3	-1.384,8	-1.433,2	-1.481,6	-30
-10	-500,7	-550,4	-600,2	-649,6	-699,4	-748,6	-797,9	-847,2	-896,5	-945,7	-994,7	-20
0	0,0	-50,4	-100,6	-150,9	-201,0	-251,1	-301,2	-351,1	-401,1	-450,9	-500,7	-10

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	50,4	100,9	151,4	202,0	252,7	303,4	354,1	405,0	455,8	506,8	10
10	506,8	557,8	608,8	659,9	711,1	762,3	813,6	864,9	916,2	967,7	1.019,1	20
20	1.019,1	1.070,7	1.122,3	1.173,9	1.225,6	1.277,3	1.329,1	1.380,9	1.432,8	1.484,7	1.536,7	30
30	1.536,7	1.588,7	1.640,7	1.692,8	1.745,0	1.797,2	1.849,4	1.901,7	1.954,1	2.006,4	2.058,8	40
40	2.058,8	2.111,3	2.163,8	2.216,4	2.268,9	2.321,6	2.374,2	2.426,9	2.479,7	2.532,5	2.585,3	50
50	2.585,3	2.638,2	2.691,1	2.744,0	2.797,0	2.850,0	2.903,1	2.956,2	3.009,3	3.062,5	3.115,7	60
60	3.115,7	3.168,9	3.222,2	3.275,5	3.328,8	3.382,2	3.435,6	3.489,0	3.542,5	3.596,0	3.649,5	70
70	3.649,5	3.703,1	3.756,7	3.810,3	3.864,0	3.917,7	3.971,4	4.025,2	4.078,9	4.132,7	4.186,6	80
80	4.186,6	4.240,4	4.294,3	4.348,3	4.402,2	4.456,2	4.510,2	4.564,2	4.618,3	4.672,4	4.726,5	90
90	4.726,5	4.780,6	4.834,8	4.889,0	4.943,2	4.997,4	5.051,7	5.105,9	5.160,2	5.214,6	5.268,9	100
100	5.268,9	5.323,3	5.377,7	5.432,1	5.486,5	5.541,0	5.595,5	5.650,0	5.704,5	5.759,1	5.813,6	110
110	5.813,6	5.868,2	5.922,8	5.977,4	6.032,1	6.086,7	6.141,4	6.196,1	6.250,8	6.305,6	6.360,3	120
120	6.360,3	6.415,1	6.469,9	6.524,7	6.579,5	6.634,3	6.689,2	6.744,0	6.798,9	6.853,8	6.908,7	130
130	6.908,7	6.963,7	7.018,6	7.073,6	7.128,5	7.183,5	7.238,5	7.293,6	7.348,6	7.403,6	7.458,7	140
140	7.458,7	7.513,7	7.568,8	7.623,9	7.679,0	7.734,1	7.789,3	7.844,4	7.899,6	7.954,7	8.009,9	150
150	8.009,9	8.065,1	8.120,3	8.175,5	8.230,7	8.285,9	8.341,2	8.396,4	8.451,7	8.506,9	8.562,2	160
160	8.562,2	8.617,5	8.672,8	8.728,1	8.783,4	8.838,7	8.894,0	8.949,4	9.004,7	9.060,1	9.115,4	170
170	9.115,4	9.170,8	9.226,2	9.281,5	9.336,9	9.392,3	9.447,7	9.503,1	9.558,5	9.613,9	9.669,4	180
180	9.669,4	9.724,8	9.780,2	9.835,6	9.891,1	9.946,5	10.002,0	10.057,4	10.112,9	10.168,4	10.223,8	190
190	10.223,8	10.279,3	10.334,8	10.390,3	10.445,8	10.501,3	10.556,7	10.612,2	10.667,7	10.723,2	10.778,7	200
200	10.778,7	10.834,3	10.889,8	10.945,3	11.000,8	11.056,3	11.111,8	11.167,4	11.222,9	11.278,4	11.333,9	210
210	11.333,9	11.389,5	11.445,0	11.500,5	11.556,0	11.611,6	11.667,1	11.722,7	11.778,2	11.833,7	11.889,3	220
220	11.889,3	11.944,8	12.000,3	12.055,9	12.111,4	12.167,0	12.222,5	12.278,0	12.333,6	12.389,1	12.444,6	230
230	12.444,6	12.500,2	12.555,7	12.611,3	12.666,8	12.722,3	12.777,9	12.833,4	12.888,9	12.944,5	13.000,0	240
240	13.000,0	13.055,5	13.111,0	13.166,6	13.222,1	13.277,6	13.333,1	13.388,6	13.444,2	13.499,7	13.555,2	250
250	13.555,2	13.610,7	13.666,2	13.721,7	13.777,2	13.832,7	13.888,2	13.943,7	13.999,2	14.054,7	14.110,2	260
260	14.110,2	14.165,7	14.221,2	14.276,7	14.332,2	14.387,7	14.443,1	14.498,6	14.554,0	14.609,5	14.664,9	270
270	14.664,9	14.720,4	14.775,9	14.831,3	14.886,8	14.942,2	14.997,6	15.053,1	15.108,5	15.163,9	15.219,4	280
280	15.219,4	15.274,8	15.330,2	15.385,6	15.441,1	15.496,5	15.551,9	15.607,3	15.662,7	15.718,1	15.773,5	290
290	15.773,5	15.828,9	15.884,2	15.939,6	15.995,0	16.050,4	16.105,8	16.161,1	16.216,5	16.271,8	16.327,2	300
300	16.327,2	16.382,6	16.437,9	16.493,3	16.548,6	16.603,9	16.659,3	16.714,6	16.769,9	16.825,2	16.880,6	310
310	16.880,6	16.935,9	16.991,2	17.046,5	17.101,8	17.157,1	17.212,4	17.267,7	17.323,0	17.378,3	17.433,5	320
320	17.433,5	17.488,8	17.544,1	17.599,4	17.654,6	17.709,9	17.765,2	17.820,4	17.875,7	17.930,9	17.986,2	330
330	17.986,2	18.041,4	18.096,7	18.151,9	18.207,1	18.262,4	18.317,6	18.372,8	18.428,0	18.483,3	18.538,5	340
340	18.538,5	18.593,7	18.648,9	18.704,1	18.759,3	18.814,5	18.869,7	18.924,9	18.980,1	19.035,3	19.090,5	350
350	19.090,5	19.145,6	19.200,8	19.256,0	19.311,2	19.366,4	19.421,5	19.476,7	19.531,9	19.587,0	19.642,2	360
360	19.642,2	19.697,4	19.752,5	19.807,7	19.862,9	19.918,0	19.973,2	20.028,3	20.083,5	20.138,6	20.193,8	370
370	20.193,8	20.248,9	20.304,1	20.359,2	20.414,4	20.469,5	20.524,6	20.579,8	20.634,9	20.690,1	20.745,2	380
380	20.745,2	20.800,3	20.855,5	20.910,6	20.965,8	21.020,9	21.076,0	21.131,2	21.186,3	21.241,5	21.296,6	390
390	21.296,6	21.351,8	21.406,9	21.462,0	21.517,2	21.572,3	21.627,5	21.682,6	21.737,8	21.792,9	21.848,1	400
400	21.848,1	21.903,2	21.958,4	22.013,5	22.068,7	22.123,8	22.179,0	22.234,2	22.289,3	22.344,5	22.399,7	410
410	22.399,7	22.454,9	22.510,0	22.565,2	22.620,4	22.675,6	22.730,8	22.786,0	22.841,2	22.896,4	22.951,6	420
420	22.951,6	23.006,8	23.062,0	23.117,2	23.172,4	23.227,6	23.282,9	23.338,1	23.393,3	23.448,6	23.503,8	430
430	23.503,8	23.559,1	23.614,3	23.669,6	23.724,9	23.780,2	23.835,4	23.890,7	23.946,0	24.001,3	24.056,6	440
440	24.056,6	24.111,9	24.167,3	24.222,6	24.277,9	24.333,3	24.388,6	24.444,0	24.499,3	24.554,7	24.610,1	450
450	24.610,1	24.665,5	24.720,9	24.776,3	24.831,7	24.887,1	24.942,4	24.997,8	25.053,2	25.108,6	25.164,0	460
460	25.164,0	25.219,8	25.275,3	25.330,8	25.386,3	25.441,8	25.497,4	25.552,9	25.608,4	25.664,0	25.719,6	470
470	25.719,6	25.775,1	25.830,7	25.886,3	25.942,0	25.997,6	26.053,2	26.108,9	26.164,5	26.220,2	26.275,9	480
480	26.275,9	26.331,6	26.387,3	26.443,1	26.498,8	26.554,6	26.610,3	26.666,1	26.721,9	26.777,7	26.833,5	490
490	26.833,5	26.889,4	26.945,2	27.001,1	27.057,0	27.112,9	27.168,8	27.224,7	27.280,7	27.336,6	27.392,6	500
500	27.392,6	27.448,6	27.504,6	27.560,7	27.616,7	27.672,8	27.728,9	27.785,0	27.841,1	27.897,2	27.953,4	510
510	27.953,4	28.009,5	28.065,7	28.121,9	28.178,1	28.234,4	28.290,6	28.346,9	28.403,2	28.459,5	28.515,9	520
520	28.515,9	28.572,2	28.628,6	28.685,0	28.741,4	28.797,9	28.854,3	28.910,8	28.967,3	29.023,9	29.080,4	530
530	29.080,4	29.137,0	29.193,6	29.250,2	29.306,8	29.363,5	29.420,1	29.476,8	29.533,6	29.590,3	29.647,1	540

Valores da força eletromotriz (  $\mu V$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
540	29.647,1	29.703,9	29.760,7	29.817,5	29.874,4	29.931,3	29.988,2	30.045,1	30.102,1	30.159,1	30.216,1	550
550	30.216,1	30.273,2	30.330,2	30.387,3	30.444,4	30.501,6	30.558,7	30.615,9	30.673,1	30.730,4	30.787,7	560
560	30.787,7	30.845,0	30.902,3	30.959,6	31.017,0	31.074,4	31.131,9	31.189,3	31.246,8	31.304,4	31.361,9	570
570	31.361,9	31.419,5	31.477,1	31.534,7	31.592,4	31.650,1	31.707,8	31.765,6	31.823,3	31.881,2	31.939,0	580
580	31.939,0	31.996,9	32.054,8	32.112,7	32.170,7	32.228,7	32.286,7	32.344,8	32.402,9	32.461,0	32.519,1	590
590	32.519,1	32.577,3	32.635,5	32.693,8	32.752,1	32.810,4	32.868,7	32.927,1	32.985,5	33.043,9	33.102,4	600
600	33.102,4	33.160,9	33.219,5	33.278,0	33.336,6	33.395,3	33.454,0	33.512,7	33.571,4	33.630,2	33.689,0	610
610	33.689,0	33.747,9	33.806,7	33.865,6	33.924,6	33.983,6	34.042,6	34.101,7	34.160,7	34.219,9	34.279,0	620
620	34.279,0	34.338,2	34.397,5	34.456,7	34.516,0	34.575,4	34.634,7	34.694,2	34.753,6	34.813,1	34.872,6	630
630	34.872,6	34.932,2	34.991,7	35.051,4	35.111,0	35.170,7	35.230,5	35.290,3	35.350,1	35.409,9	35.469,8	640
640	35.469,8	35.529,7	35.589,7	35.649,7	35.709,7	35.769,8	35.829,9	35.890,1	35.950,2	36.010,5	36.070,7	650
650	36.070,7	36.131,0	36.191,4	36.251,7	36.312,1	36.372,6	36.433,1	36.493,6	36.554,2	36.614,8	36.675,4	660
660	36.675,4	36.736,1	36.796,8	36.857,5	36.918,3	36.979,2	37.040,0	37.100,9	37.161,9	37.222,9	37.283,9	670
670	37.283,9	37.344,9	37.406,0	37.467,2	37.528,3	37.589,5	37.650,8	37.712,1	37.773,4	37.834,7	37.896,1	680
680	37.896,1	37.957,6	38.019,0	38.080,5	38.142,1	38.203,7	38.265,3	38.326,9	38.388,6	38.450,4	38.512,1	690
690	38.512,1	38.573,9	38.635,8	38.697,7	38.759,6	38.821,5	38.883,5	38.945,5	39.007,6	39.069,7	39.131,8	700
700	39.131,8	39.194,0	39.256,2	39.318,4	39.380,7	39.443,0	39.505,4	39.567,8	39.630,2	39.692,6	39.755,1	710
710	39.755,1	39.817,6	39.880,2	39.942,8	40.005,4	40.068,0	40.130,7	40.193,5	40.256,2	40.319,0	40.381,8	720
720	40.381,8	40.444,7	40.507,6	40.570,5	40.633,4	40.696,4	40.759,4	40.822,5	40.885,6	40.948,7	41.011,8	730
730	41.011,8	41.075,0	41.138,2	41.201,4	41.264,6	41.327,9	41.391,2	41.454,6	41.518,0	41.581,4	41.644,8	740
740	41.644,8	41.708,2	41.771,7	41.835,2	41.898,8	41.962,3	42.025,9	42.089,5	42.153,2	42.216,8	42.280,5	750
750	42.280,5	42.344,2	42.408,0	42.471,7	42.535,5	42.599,3	42.663,1	42.727,0	42.790,8	42.854,7	42.918,6	760
760	42.918,6	42.982,6	43.046,6	43.110,6	43.174,6	43.238,7	43.302,8	43.366,9	43.431,1	43.495,3	43.559,5	770
770	43.559,5	43.623,7	43.688,0	43.752,3	43.816,6	43.881,0	43.945,3	44.009,7	44.074,1	44.138,6	44.203,0	780
780	44.203,0	44.267,5	44.332,0	44.396,4	44.461,0	44.525,5	44.590,0	44.654,6	44.719,1	44.783,7	44.848,3	790
790	44.848,3	44.912,8	44.977,4	45.042,0	45.106,6	45.171,3	45.235,9	45.300,5	45.365,1	45.429,8	45.494,4	800
800	45.494,4	45.559,0	45.623,7	45.688,3	45.752,9	45.817,6	45.882,2	45.946,8	46.011,4	46.076,1	46.140,7	810
810	46.140,7	46.205,3	46.269,9	46.334,5	46.399,1	46.463,6	46.528,2	46.592,8	46.657,3	46.721,9	46.786,4	820
820	46.786,4	46.850,9	46.915,4	46.979,9	47.044,4	47.108,9	47.173,4	47.237,8	47.302,2	47.366,6	47.431,0	830
830	47.431,0	47.495,4	47.559,8	47.624,1	47.688,5	47.752,8	47.817,1	47.881,6	47.945,6	48.009,8	48.074,0	840
840	48.074,0	48.138,2	48.202,4	48.266,5	48.330,7	48.394,8	48.458,8	48.522,9	48.586,9	48.651,0	48.714,9	850
850	48.714,9	48.778,9	48.842,8	48.906,7	48.970,6	49.034,5	49.098,3	49.162,1	49.225,9	49.289,7	49.353,4	860
860	49.353,4	49.417,1	49.480,8	49.544,4	49.608,0	49.671,6	49.735,1	49.798,7	49.862,2	49.925,6	49.989,1	870
870	49.989,1	50.052,5	50.115,9	50.179,2	50.242,5	50.305,8	50.369,0	50.432,3	50.495,5	50.558,6	50.621,7	880
880	50.621,7	50.684,8	50.747,9	50.810,9	50.873,9	50.936,9	50.999,8	51.062,7	51.125,6	51.188,4	51.251,2	890
890	51.251,2	51.313,9	51.376,7	51.439,4	51.502,0	51.564,7	51.627,3	51.689,8	51.752,3	51.814,8	51.877,3	900
900	51.877,3	51.939,7	52.002,1	52.064,4	52.126,8	52.189,0	52.251,3	52.313,5	52.375,7	52.437,8	52.499,9	910
910	52.499,9	52.562,0	52.624,0	52.686,0	52.748,0	52.810,0	52.871,9	52.933,7	52.995,5	53.057,3	53.119,1	920
920	53.119,1	53.180,8	53.242,5	53.304,2	53.365,8	53.427,4	53.488,9	53.550,4	53.611,9	53.673,3	53.734,8	930
930	53.734,8	53.796,1	53.857,5	53.918,8	53.980,1	54.041,3	54.102,5	54.163,7	54.224,8	54.285,9	54.347,0	940
940	54.347,0	54.408,0	54.469,0	54.530,0	54.590,9	54.651,8	54.712,7	54.773,5	54.834,3	54.895,0	54.955,8	950
950	54.955,8	55.016,5	55.077,1	55.137,8	55.198,4	55.258,9	55.319,5	55.380,0	55.440,5	55.500,9	55.561,3	960
960	55.561,3	55.621,7	55.682,0	55.742,3	55.802,6	55.862,9	55.923,1	55.983,3	56.043,4	56.103,6	56.163,7	970
970	56.163,7	56.223,7	56.283,8	56.343,8	56.403,8	56.463,7	56.523,6	56.583,5	56.643,4	56.703,2	56.763,0	980
980	56.763,0	56.822,8	56.882,5	56.942,3	57.002,0	57.061,6	57.121,3	57.180,9	57.240,5	57.300,0	57.359,5	990
990	57.359,5	57.419,0	57.478,5	57.538,0	57.597,4	57.656,8	57.716,2	57.775,5	57.834,8	57.894,1	57.953,4	1000
1000	57.953,4	58.012,7	58.071,9	58.131,1	58.190,3	59.249,4	59.308,5	59.367,7	58.426,7	58.485,8	58.544,8	1010
1010	58.544,8	58.603,8	58.662,8	58.721,8	58.780,8	58.839,7	58.898,6	58.957,5	59.016,3	59.075,2	59.134,0	1020
1020	59.134,0	59.192,8	59.251,6	59.310,4	59.369,1	59.427,8	59.486,5	59.545,2	59.603,9	59.662,5	59.721,2	1030
1030	59.721,2	59.779,8	59.838,4	59.897,0	59.955,5	60.014,1	60.072,6	60.131,1	60.189,6	60.248,1	60.306,5	1040
1040	60.306,5	60.365,0	60.423,4	60.481,8	60.540,2	60.598,6	60.657,0	60.715,3	60.773,7	60.832,0	60.890,3	1050
1050	60.890,3	60.948,6	61.006,9	61.065,2	61.123,4	61.181,7	61.239,9	61.298,1	61.356,3	61.414,5	61.472,7	1060
1060	61.472,7	61.530,9	61.589,0	61.647,2	61.705,3	61.763,4	61.821,5	61.879,7	61.937,7	61.995,8	62.053,9	1070
1070	62.053,9	62.112,0	62.170,0	62.228,1	62.286,1	62.344,1	62.402,1	62.460,1	62.518,1	62.576,1	62.634,1	1080
1080	62.634,1	62.692,1	62.750,1	62.808,0	62.866,0	62.923,9	62.981,8	63.039,8	63.097,7	63.155,6	63.213,5	1090
1090	63.213,5	63.271,4	63.329,3	63.387,2	63.445,1	63.502,9	63.560,8	63.618,7	63.676,5	63.734,4	63.792,2	1100
1100	63.792,2	63.850,1	63.907,9	63.965,7	64.023,5	64.081,4	64.139,2	64.197,0	64.254,8	64.312,6	64.370,4	1110
1110	64.370,4	64.428,2	64.486,0	64.543,7	64.601,5	64.659,3	64.717,1	64.774,8	64.832,6	64.890,3	64.948,1	1120
1120	64.948,1	65.005,8	65.063,6	65.121,3	65.179,1	65.236,8	65.294,5	65.352,3	65.410,0	65.467,7	65.525,4	1130
1130	65.525,4	65.583,1	65.640,9	65.698,6	65.756,3	65.814,0	65.871,7	65.929,3	65.987,0	66.044,7	66.102,4	1140
1140	66.102,4	66.160,1	66.217,8	66.275,4	66.333,1	66.390,8	66.448,4	66.506,1	66.563,7	66.621,4	66.679,0	1150
1150	66.679,0	66.736,7	66.794,3	66.851,9	66.909,5	66.967,2	97.024,8	67.082,4	67.140,0	67.197,6	67.255,2	1160
1160	67.255,2	67.312,8	67.370,4	67.428,0	67.485,6	67.543,1	67.600,7	67.658,3	67.715,8	67.773,4	67.830,9	1170
1170	67.830,9	67.888,4	67.946,0	68.003,5	68.061,3	68.118,5	68.176,0	68.233,5	68.291,0	68.348,5	68.405,9	1180
1180	68.405,9	68.463,4	68.520,9	68.578,3	68.635,7	68.693,2	68.750,6	68.808,0	68.865,4	68.922,7	68.980,1	1190
1190	68.980,1	69.037,5	69.094,8	69.152,2	69.209,5	69.266,8	69.324,1	69.381,4	69.438,7	69.495,9	69.553,2	1200
1200	69.553,2											

Valores da força eletromotriz ( $\mu V$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-260	-6.441,1	-6.443,6	-6.446,0	-6.448,1	-6.450,1	-6.451,8	-6.453,4	-6.454,7	-6.455,9	-6.456,9	-6.457,7	-270
-250	-6.403,6	-6.408,3	-6.412,9	-6.417,2	-6.421,2	-6.425,1	-6.428,7	-6.432,1	-6.435,3	-6.438,3	-6.441,1	-260
-240	-6.343,8	-6.350,8	-6.357,6	-6.364,1	-6.370,4	-6.376,5	-6.382,4	-6.388,0	-6.393,4	-6.398,6	-6.403,6	-250
-230	-6.261,8	-6.271,0	-6.280,0	-6.288,7	-6.297,3	-6.305,6	-6.313,7	-6.321,5	-6.329,2	-6.336,6	-6.343,8	-240
-220	-6.158,4	-6.169,7	-6.180,8	-6.191,6	-6.202,3	-6.212,7	-6.223,0	-6.233,0	-6.242,8	-6.252,4	-6.261,8	-230
-210	-6.034,6	-6.047,9	-6.061,0	-6.073,8	-6.086,5	-6.099,0	-6.111,3	-6.123,4	-6.135,3	-6.146,9	-6.158,4	-220
-200	-5.891,4	-5.906,6	-5.921,6	-5.936,3	-5.951,0	-5.965,4	-5.979,6	-5.993,6	-6.007,5	-6.021,1	-6.034,6	-210
-190	-5.729,7	-5.746,7	-5.763,5	-5.780,1	-5.796,6	-5.812,8	-5.828,9	-5.844,8	-5.860,5	-5.876,1	-5.891,4	-200
-180	-5.550,3	-5.569,1	-5.587,6	-5.606,0	-5.624,2	-5.642,2	-5.660,1	-5.677,7	-5.695,2	-5.712,6	-5.729,7	-190
-170	-5.354,0	-5.374,4	-5.394,6	-5.414,6	-5.434,5	-5.454,2	-5.473,8	-5.493,2	-5.512,4	-5.531,5	-5.550,3	-180
-160	-5.141,2	-5.163,2	-5.185,1	-5.206,7	-5.228,3	-5.249,6	-5.270,8	-5.291,8	-5.312,7	-5.333,4	-5.354,0	-170
-150	-4.912,7	-4.936,3	-4.959,6	-4.982,9	-5.006,0	-5.028,9	-5.051,7	-5.074,3	-5.096,8	-5.119,1	-5.141,2	-160
-140	-4.669,0	-4.694,0	-4.718,9	-4.743,7	-4.768,3	-4.792,7	-4.817,0	-4.841,2	-4.865,2	-4.889,0	-4.912,7	-150
-130	-4.410,6	-4.437,1	-4.463,4	-4.489,6	-4.515,7	-4.541,6	-4.567,4	-4.593,0	-4.618,5	-4.643,8	-4.669,0	-140
-120	-4.138,2	-4.166,1	-4.193,8	-4.221,4	-4.248,8	-4.276,1	-4.303,3	-4.330,3	-4.357,2	-4.384,0	-4.410,6	-130
-110	-3.852,3	-3.881,5	-3.910,6	-3.939,5	-3.968,3	-3.996,9	-4.025,4	-4.053,8	-4.082,1	-4.110,2	-4.138,2	-120
-100	-3.553,6	-3.584,1	-3.614,4	-3.644,6	-3.674,6	-3.704,6	-3.734,4	-3.764,1	-3.793,6	-3.823,0	-3.852,3	-110
-90	-3.242,7	-3.274,3	-3.305,8	-3.337,2	-3.368,5	-3.399,6	-3.430,7	-3.461,6	-3.492,4	-3.523,1	-3.553,6	-100
-80	-2.920,1	-2.952,9	-2.985,5	-3.018,1	-3.050,5	-3.082,8	-3.115,0	-3.147,1	-3.179,1	-3.210,9	-3.242,7	-90
-70	-2.586,6	-2.620,4	-2.654,2	-2.687,8	-2.721,3	-2.754,7	-2.788,0	-2.821,2	-2.854,3	-2.887,3	-2.920,1	-80
-60	-2.242,8	-2.277,6	-2.312,4	-2.347,0	-2.381,5	-2.416,0	-2.450,3	-2.484,5	-2.518,7	-2.552,7	-2.586,6	-70
-50	-1.889,4	-1.925,1	-1.960,8	-1.996,4	-2.031,9	-2.067,3	-2.102,6	-2.137,8	-2.172,9	-2.207,9	-2.242,8	-60
-40	-1.526,9	-1.563,6	-1.600,1	-1.636,6	-1.673,0	-1.709,3	-1.745,5	-1.781,6	-1.817,6	-1.853,5	-1.889,4	-50
-30	-1.156,1	-1.193,6	-1.230,9	-1.268,2	-1.305,4	-1.342,5	-1.379,6	-1.416,6	-1.453,4	-1.490,2	-1.526,9	-40
-20	-777,5	-815,7	-853,8	-891,9	-929,9	-967,8	-1.005,6	-1.043,3	-1.081,0	-1.118,6	-1.156,1	-30
-10	-391,9	-430,7	-469,5	-508,3	-546,9	-585,5	-624,1	-662,5	-700,9	-739,3	-777,5	-20
0	0,0	-39,4	-78,8	-118,1	-157,4	-196,6	-235,8	-274,9	-313,9	-352,9	-391,9	-10

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	39,5	79,0	118,6	158,2	197,9	237,6	277,3	317,1	357,0	396,9	10
10	396,9	436,8	476,8	516,8	556,9	597,0	637,1	677,3	717,5	757,8	798,1	20
20	798,1	838,5	878,9	919,3	959,7	1.000,2	1.040,8	1.081,3	1.122,0	1.162,6	1.203,3	30
30	1.203,3	1.244,0	1.284,7	1.325,5	1.366,3	1.407,1	1.448,0	1.488,9	1.529,8	1.570,8	1.611,8	40
40	1.611,8	1.652,8	1.693,8	1.734,9	1.776,0	1.817,1	1.858,3	1.899,4	1.940,6	1.981,8	2.023,1	50
50	2.023,1	2.064,3	2.105,6	2.146,9	2.188,2	2.229,6	2.270,9	2.312,3	2.353,7	2.395,1	2.436,5	60
60	2.436,5	2.477,9	2.519,3	2.560,8	2.602,3	2.643,7	2.685,2	2.726,7	2.768,2	2.809,7	2.851,2	70
70	2.851,2	2.892,8	2.934,3	2.975,8	3.017,4	3.058,9	3.100,5	3.142,0	3.183,6	3.225,1	3.266,6	80
80	3.266,6	3.308,2	3.349,7	3.391,3	3.432,8	3.474,3	3.515,9	3.557,4	3.598,9	3.640,4	3.681,9	90
90	3.681,9	3.723,4	3.764,8	3.806,3	3.847,8	3.889,2	3.930,6	3.972,1	4.013,5	4.054,9	4.096,2	100
100	4.096,2	4.137,6	4.178,9	4.220,3	4.261,6	4.302,9	4.344,1	4.385,4	4.426,6	4.467,9	4.509,1	110
110	4.509,1	4.550,2	4.591,4	4.632,5	4.673,7	4.714,7	4.755,8	4.796,9	4.837,9	4.878,9	4.919,9	120
120	4.919,9	4.960,8	5.001,8	5.042,7	5.083,6	5.124,4	5.165,3	5.206,1	5.246,9	5.287,7	5.328,4	130
130	5.328,4	5.369,1	5.409,8	5.450,5	5.491,1	5.531,7	5.572,3	5.612,9	5.653,5	5.694,0	5.734,5	140
140	5.734,5	5.775,0	5.815,4	5.855,9	5.896,3	5.936,7	5.977,1	6.017,4	6.057,7	6.098,1	6.138,3	150
150	6.138,3	6.178,6	6.218,9	6.259,1	6.299,3	6.339,5	6.379,7	6.419,8	6.460,0	6.500,1	6.540,2	160
160	6.540,2	6.580,3	6.620,4	6.660,5	6.700,6	6.740,6	6.780,6	6.820,6	6.860,6	6.900,6	6.940,6	170
170	6.940,6	6.980,6	7.020,5	7.060,5	7.100,4	7.140,4	7.180,3	7.220,3	7.260,2	7.300,1	7.340,0	180
180	7.340,0	7.379,9	7.419,9	7.459,8	7.499,7	7.539,6	7.579,5	7.619,4	7.659,3	7.699,2	7.739,1	190
190	7.739,1	7.779,0	7.819,0	7.858,9	7.898,8	7.938,7	7.978,7	8.018,6	8.058,6	8.098,5	8.138,5	200
200	8.138,5	8.178,4	8.218,4	8.258,4	8.298,4	8.338,4	8.378,4	8.418,4	8.458,5	8.498,5	8.538,6	210
210	8.538,6	8.578,7	8.618,7	8.658,8	8.698,9	8.739,1	8.779,2	8.819,4	8.859,5	8.899,7	8.939,9	220
220	8.939,9	8.980,1	9.020,3	9.060,6	9.100,8	9.141,1	9.181,4	9.221,7	9.262,0	9.302,3	9.342,7	230
230	9.342,7	9.383,1	9.423,4	9.463,8	9.504,3	9.544,7	9.585,2	9.625,6	9.666,1	9.706,6	9.747,2	240
240	9.747,2	9.787,7	9.828,3	9.868,8	9.909,4	9.950,0	9.990,7	10.031,3	10.072,0	10.112,7	10.153,4	250
250	10.153,4	10.194,1	10.234,8	10.275,6	10.316,3	10.357,1	10.397,9	10.438,8	10.479,6	10.520,5	10.561,3	260
260	10.561,3	10.602,2	10.643,1	10.684,0	10.725,0	10.765,9	10.806,9	10.847,9	10.888,9	10.929,9	10.970,9	270
270	10.970,9	11.012,0	11.053,1	11.094,1	11.135,2	11.176,3	11.217,5	11.258,6	11.299,8	11.340,9	11.382,1	280
280	11.382,1	11.423,3	11.464,5	11.505,8	11.547,0	11.588,2	11.629,5	11.670,8	11.712,1	11.753,4	11.794,7	290
290	11.794,7	11.836,0	11.877,4	11.918,7	11.960,1	12.001,5	12.042,9	12.084,3	12.125,7	12.167,1	12.208,6	300
300	12.208,6	12.250,0	12.291,5	12.333,0	12.374,4	12.415,9	12.457,4	12.499,0	12.540,5	12.582,0	12.623,6	310
310	12.623,6	12.665,1	12.706,7	12.748,3	12.789,9	12.831,5	12.873,1	12.914,7	12.956,3	12.998,0	13.039,6	320
320	13.039,6	13.081,3	13.123,0	13.164,6	13.206,3	13.248,0	13.289,7	13.331,4	13.373,1	13.414,9	13.456,6	330
330	13.456,6	13.498,4	13.540,1	13.581,9	13.623,7	13.665,4	13.707,2	13.749,0	13.790,8	13.832,7	13.874,5	340
340	13.874,5	13.916,3	13.958,2	14.000,0	14.041,9	14.083,7	14.125,6	14.167,5	14.209,4	14.251,2	14.293,1	350
350	14.293,1	14.335,1	14.377,0	14.418,9	14.460,8	14.502,8	14.544,7	14.586,7	14.628,6	14.670,6	14.712,6	360
360	14.712,6	14.754,6	14.796,5	14.838,5	14.880,6	14.922,6	14.964,6	15.006,6	15.048,6	15.090,7	15.132,7	370
370	15.132,7	15.174,8	15.216,8	15.258,9	15.301,0	15.343,1	15.385,1	15.427,2	15.469,3	15.511,4	15.553,6	380
380	15.553,6	15.595,7	15.637,8	15.679,9	15.722,1	15.764,2	15.806,4	15.848,5	15.890,7	15.932,9	15.975,0	390
390	15.975,0	16.017,2	16.059,4	16.101,6	16.143,8	16.186,0	16.228,2	16.270,4	16.312,7	16.354,9	16.397,1	400
400	16.397,1	16.439,4	16.481,6	16.523,9	16.566,2	16.608,4	16.650,7	16.693,0	16.735,3	16.777,5	16.819,8	410
410	16.819,8	16.862,1	16.904,4	16.946,8	16.989,1	17.031,4	17.073,7	17.116,1	17.158,4	17.200,7	17.243,1	420
420	17.243,1	17.285,4	17.327,8	17.370,2	17.412,5	17.454,9	17.497,3	17.539,7	17.582,1	17.624,5	17.666,9	430
430	17.666,9	17.709,3	17.751,7	17.794,1	17.836,5	17.878,9	17.921,4	17.963,8	18.006,2	18.048,7	18.091,1	440
440	18.091,1	18.133,6	18.176,0	18.218,5	18.260,9	18.303,4	18.345,9	18.388,4	18.430,8	18.473,3	18.515,8	450
450	18.515,8	18.558,3	18.600,8	18.643,3	18.685,8	18.728,3	18.770,8	18.813,3	18.855,9	18.898,4	18.940,9	460
460	18.940,9	18.983,4	19.026,0	19.068,5	19.111,0	19.153,6	19.196,1	19.238,7	19.281,2	19.323,8	19.366,3	470
470	19.366,3	19.408,9	19.451,5	19.494,0	19.536,6	19.579,2	19.621,8	19.664,3	19.706,9	19.749,5	19.792,1	480

Valores da força eletromotriz ( $\mu V$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
480	19.792,1	19.834,7	19.877,3	19.919,9	19.962,5	20.005,1	20.047,7	20.090,3	20.132,9	20.175,5	20.218,1	490
490	20.218,1	20.260,7	20.303,3	20.345,9	20.388,5	20.431,2	20.473,8	20.516,4	20.559,0	20.601,7	20.644,3	500
500	20.644,3	20.686,9	20.729,5	20.772,2	20.814,8	20.857,4	20.900,1	20.942,7	20.985,4	21.028,0	21.070,6	510
510	21.070,6	21.113,3	21.155,9	21.198,6	21.241,2	21.283,8	21.326,5	21.369,1	21.411,8	21.454,4	21.497,1	520
520	21.497,1	21.539,7	21.582,4	21.625,0	21.667,7	21.710,3	21.753,0	21.795,6	21.838,3	21.880,9	21.923,6	530
530	21.923,6	21.966,2	22.008,9	22.051,5	22.094,2	22.136,8	22.179,4	22.222,1	22.264,7	22.307,4	22.350,0	540
540	22.350,0	22.392,7	22.435,3	22.478,0	22.520,6	22.563,2	22.605,9	22.648,5	22.691,2	22.733,8	22.776,4	550
550	22.776,4	22.819,1	22.861,7	22.904,3	22.947,0	22.989,6	23.032,2	23.074,8	23.117,5	23.160,1	23.202,7	560
560	23.202,7	23.245,3	23.287,9	23.330,6	23.373,2	23.415,8	23.458,4	23.501,0	23.543,6	23.586,2	23.628,8	570
570	23.628,8	23.671,4	23.714,0	23.756,6	23.799,2	23.841,8	23.884,3	23.926,9	23.969,5	24.012,1	24.054,7	580
580	24.054,7	24.097,2	24.139,8	24.182,4	24.224,9	24.267,5	24.310,0	24.352,6	24.395,1	24.437,7	24.480,2	590
590	24.480,2	24.522,8	24.565,3	24.607,8	24.650,4	24.692,9	24.735,4	24.777,9	24.820,4	24.863,0	24.905,5	600
600	24.905,5	24.948,0	24.990,5	25.033,0	25.075,5	25.117,9	25.160,4	25.202,9	25.245,4	25.287,8	25.330,3	610
610	25.330,3	25.372,8	25.415,2	25.457,7	25.500,1	25.542,6	25.585,0	25.627,5	25.669,9	25.712,3	25.754,7	620
620	25.754,7	25.797,1	25.839,5	25.882,0	25.924,4	25.966,8	26.009,1	26.051,5	26.093,9	26.136,3	26.178,6	630
630	26.178,6	26.221,0	26.263,4	26.305,7	26.348,1	26.390,4	26.432,8	26.475,1	26.517,4	26.559,7	26.602,0	640
640	26.602,0	26.644,4	26.686,7	26.729,0	26.771,2	26.813,5	26.855,8	26.898,1	26.940,3	26.982,6	27.024,9	650
650	27.024,9	27.067,1	27.109,4	27.151,6	27.193,8	27.236,0	27.278,3	27.320,5	27.362,7	27.404,9	27.447,1	660
660	27.447,1	27.489,3	27.531,4	27.573,6	27.615,8	27.657,9	27.700,1	27.742,2	27.784,4	27.826,5	27.868,6	670
670	27.868,6	27.910,7	27.952,8	27.994,9	28.037,0	28.079,1	28.121,2	28.163,3	28.205,4	28.247,4	28.289,5	680
680	28.289,5	28.331,5	28.373,6	28.415,6	28.457,6	28.499,6	28.541,6	28.583,6	28.625,6	28.667,6	28.709,6	690
690	28.709,6	28.751,6	28.793,5	28.835,5	28.877,4	28.919,4	28.961,3	29.003,2	29.045,2	29.087,1	29.129,0	700
700	29.129,0	29.170,9	29.212,8	29.254,6	29.296,5	29.338,4	29.380,2	29.422,1	29.463,9	29.505,7	29.547,6	710
710	29.547,6	29.589,4	29.631,2	29.673,0	29.714,8	29.756,5	29.798,3	29.840,1	29.881,8	29.923,6	29.965,3	720
720	29.965,3	30.007,0	30.048,8	30.090,5	30.132,2	30.173,9	30.215,6	30.257,3	30.298,9	30.340,6	30.382,2	730
730	30.382,2	30.423,9	30.465,5	30.507,1	30.548,8	30.590,4	30.632,0	30.673,6	30.715,1	30.756,7	30.798,3	740
740	30.798,3	30.839,8	30.881,4	30.922,9	30.964,5	31.006,0	31.047,5	31.089,0	31.130,5	31.172,0	31.213,5	750
750	31.213,5	31.254,9	31.296,4	31.337,8	31.379,3	31.420,7	31.462,1	31.503,5	31.544,9	31.586,3	31.627,7	760
760	31.627,7	31.669,1	31.710,5	31.751,8	31.793,2	31.834,5	31.875,8	31.917,1	31.958,5	31.999,8	32.041,0	770
770	32.041,0	32.082,3	32.123,6	32.164,9	32.206,1	32.247,4	32.288,6	32.329,8	32.371,0	32.412,2	32.453,4	780
780	32.453,4	32.494,6	32.535,8	32.577,0	32.618,1	32.659,3	32.700,4	32.741,6	32.782,7	32.823,8	32.864,9	790
790	32.864,9	32.906,0	32.947,1	32.988,1	33.029,2	33.070,3	33.111,3	33.152,3	33.193,4	33.234,4	33.275,4	800
800	33.275,4	33.316,4	33.357,4	33.398,3	33.439,3	33.480,3	33.521,2	33.562,1	33.603,1	33.644,0	33.684,9	810
810	33.684,9	33.725,8	33.766,7	33.807,6	33.848,4	33.889,3	33.930,1	33.971,0	34.011,8	34.052,6	34.093,4	820
820	34.093,4	34.134,2	34.175,0	34.215,8	34.256,6	34.297,3	34.338,1	34.378,8	34.419,6	34.460,3	34.501,0	830
830	34.501,0	34.541,7	34.582,4	34.623,1	34.663,7	34.704,4	34.745,0	34.785,7	34.826,3	34.866,9	34.907,5	840
840	34.907,5	34.948,1	34.988,7	35.029,3	35.069,9	35.110,4	35.151,0	35.191,5	35.232,1	35.272,6	35.313,1	850
850	35.313,1	35.353,6	35.394,1	35.434,6	35.475,1	35.515,5	35.556,0	35.596,4	35.636,8	35.677,3	35.717,7	860
860	35.717,7	35.758,1	35.798,5	35.838,8	35.879,2	35.919,6	35.959,9	36.000,3	36.040,6	36.080,9	36.121,2	870
870	36.121,2	36.161,5	36.201,8	36.242,1	36.282,4	36.322,6	36.362,9	36.403,1	36.443,4	36.483,6	36.523,8	880
880	36.523,8	36.564,0	36.604,2	36.644,4	36.684,5	36.724,7	36.764,9	36.805,0	36.845,1	36.885,3	36.925,4	890
890	36.925,4	36.965,5	37.005,6	37.045,6	37.085,7	37.125,8	37.165,8	37.205,9	37.245,9	37.285,9	37.325,9	900
900	37.325,9	37.365,9	37.405,9	37.445,9	37.485,9	37.525,8	37.565,8	37.605,7	37.645,6	37.685,6	37.725,5	910
910	37.725,5	37.765,4	37.805,2	37.845,1	37.885,0	37.924,9	37.964,7	38.004,5	38.044,4	38.084,2	38.124,0	920
920	38.124,0	38.163,8	38.203,6	38.243,4	38.283,1	38.322,9	38.362,6	38.402,4	38.442,1	38.481,8	38.521,5	930
930	38.521,5	38.561,2	38.600,9	38.640,6	38.680,3	38.719,9	38.759,6	38.799,2	38.838,8	38.878,4	38.918,0	940
940	38.918,0	38.957,6	38.997,2	39.036,8	39.076,4	39.115,9	39.155,5	39.195,0	39.234,5	39.274,0	39.313,5	950
950	39.313,5	39.353,0	39.392,5	39.432,0	39.471,4	39.510,9	39.550,3	39.589,8	39.629,2	39.668,6	39.708,0	960
960	39.708,0	39.747,4	39.786,8	39.826,2	39.865,5	39.904,9	39.944,2	39.983,5	40.022,9	40.062,2	40.101,5	970
970	40.101,5	40.140,7	40.180,0	40.219,3	40.258,6	40.297,8	40.337,0	40.376,3	40.415,5	40.454,7	40.493,9	980
980	40.493,9	40.533,1	40.572,2	40.611,4	40.650,6	40.689,7	40.728,8	40.767,9	40.807,1	40.846,2	40.885,3	990
990	40.885,3	40.924,3	40.963,4	41.002,5	41.041,5	41.080,6	41.119,6	41.158,6	41.197,6	41.236,6	41.275,6	1000
1000	41.275,6	41.314,6	41.353,5	41.392,5	41.431,4	41.470,4	41.509,3	41.548,2	41.587,1	41.626,0	41.664,9	1010
1010	41.664,9	41.703,8	41.742,6	41.781,5	41.820,3	41.859,1	41.898,0	41.936,8	41.975,6	42.014,3	42.053,1	1020
1020	42.053,1	42.091,9	42.130,6	42.169,4	42.208,1	42.246,8	42.285,5	42.324,2	42.362,9	42.401,6	42.440,3	1030
1030	42.440,3	42.478,9	42.517,6	42.556,2	42.594,8	42.633,4	42.672,0	42.710,6	42.749,2	42.787,7	42.826,3	1040
1040	42.826,3	42.864,8	42.903,4	42.941,9	42.980,4	43.018,9	43.057,4	43.095,9	43.134,3	43.172,8	43.211,2	1050
1050	43.211,2	43.249,7	43.288,1	43.326,5	43.364,9	43.403,3	43.441,7	43.480,0	43.518,4	43.556,7	43.595,1	1060
1060	43.595,1	43.633,4	43.671,7	43.710,0	43.748,3	43.786,6	43.824,8	43.863,1	43.901,3	43.939,5	43.977,7	1070
1070	43.977,7	44.016,0	44.054,1	44.092,3	44.130,5	44.168,7	44.206,8	44.244,9	44.283,1	44.321,2	44.359,3	1080
1080	44.359,3	44.397,4	44.435,4	44.473,5	44.511,5	44.549,6	44.587,6	44.625,6	44.663,6	44.701,6	44.739,6	1090
1090	44.739,6	44.777,6	44.815,5	44.853,5	44.891,4	44.929,3	44.967,2	45.005,1	45.043,0	45.080,9	45.118,7	1100
1100	45.118,7	45.156,6	45.194,4	45.232,2	45.270,0	45.307,8	45.345,6	45.383,4	45.421,2	45.458,9	45.496,6	1110
1110	45.496,6	45.534,4	45.572,1	45.609,8	45.647,5	45.685,1	45.722,8	45.760,4	45.798,1	45.835,7	45.873,3	1120
1120	45.873,3	45.910,9	45.948,5	45.986,0	46.023,6	46.061,1	46.098,7	46.136,2	46.173,7	46.211,2	46.248,7	1130
1130	46.248,7	46.286,1	46.323,6	46.361,0	46.398,4	46.435,9	46.473,3	46.510,6	46.548,0	46.585,4	46.622,7	1140
1140	46.622,7	46.660,1	46.697,4	46.734,7	46.772,0	46.809,3	46.846,5	46.883,8	46.921,0	46.958,3	46.995,5	1150
1150	46.995,5	47.032,7	47.069,9	47.107,0	47.144,2	47.181,3	47.218,5	47.255,6	47.292,7	47.329,8	47.366,8	1160
1160	47.366,8	47.403,9	47.441,0	47.478,0	47.515,0	47.552,0	47.589,0	47.626,0	47.663,0	47.699,9	47.736,8	1170
1170	47.736,8	47.773,8	47.810,7	47.847,6	47.884,4	47.921,3	47.958,2	47.995,0	48.031,8	48.068,6	48.105,4	1180
1180	48.105,4	48.142,2	48.179,0	48.215,7	48.252,4	48.289,2	48.325,9	48.362,6	48.399,2	48.435,9	48.472,6	1190
1190	48.472,6	48.509,2	48.545,8	48.582,4	48.619,0	48.655,6	48.692,1	48.728,7	48.765,2	48.801,7	48.838,2	1200
1200	48.838,2	48.874,7	48.911,2	48.947,7	48.984,1	49.020,5	49.056,9	49.093,3	49.129,7	49.166,1	49.202,4	1210
1210	49.202,4	49.238,8	49.275,1	49.311								

Valores da força eletromotriz ( $\mu\text{V}$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a  $0^\circ\text{C}$

$^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^\circ\text{C}$
1230	49.926,3	49.962,3	49.998,3	50.034,3	50.070,3	50.106,2	50.142,2	50.178,1	50.214,1	50.250,0	50.285,8	1240
1240	50.285,8	50.321,7	50.357,6	50.393,4	50.429,2	50.465,1	50.500,9	50.536,6	50.572,4	50.608,1	50.643,9	1250
1250	50.643,9	50.679,6	50.715,3	50.751,0	50.786,7	50.822,3	50.857,9	50.893,6	50.929,2	50.964,8	51.000,3	1260
1260	51.000,3	51.035,9	51.071,4	51.107,0	51.142,5	51.178,0	51.213,4	51.248,9	51.284,4	51.319,8	51.355,2	1270
1270	51.355,2	51.390,6	51.426,0	51.461,4	51.496,7	51.532,0	51.567,4	51.602,7	51.638,0	51.673,2	51.708,5	1280
1280	51.708,5	51.743,7	51.778,9	51.814,2	51.849,3	51.884,5	51.919,7	51.954,8	51.990,0	52.025,1	52.060,2	1290
1290	52.060,2	52.095,3	52.130,3	52.165,4	52.200,4	52.235,4	52.270,4	52.305,4	52.340,4	52.375,3	52.410,3	1300
1300	52.410,3	52.445,2	52.480,1	52.515,0	52.549,9	52.584,7	52.619,6	52.654,4	52.689,2	52.724,0	52.758,8	1310
1310	52.758,8	52.793,6	52.828,3	52.863,1	52.897,8	52.932,5	52.967,2	53.001,9	53.036,5	53.071,2	53.105,8	1320
1320	53.105,8	53.140,4	53.175,0	53.209,6	53.244,2	53.278,7	53.313,2	53.347,8	53.382,3	53.416,8	53.451,2	1330
1330	53.451,2	53.485,7	53.520,2	53.554,6	53.589,0	53.623,4	53.657,8	53.692,2	53.726,5	53.760,9	53.795,2	1340
1340	53.795,2	53.829,5	53.863,8	53.898,1	53.932,4	53.966,6	54.000,9	54.035,1	54.069,3	54.103,5	54.137,7	1350
1350	54.137,7	54.171,9	54.206,0	54.240,2	54.274,3	54.308,4	54.342,5	54.376,6	54.410,7	54.444,8	54.478,8	1360
1360	54.478,8	54.512,8	54.546,9	54.580,9	54.614,9	54.648,9	54.682,8	54.716,8	54.750,7	54.784,7	54.818,6	1370
1370	54.818,6	54.852,5	54.886,4									

Valores da força eletromotriz (  $\mu\text{V}$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-260	-4.335,7	-4.337,2	-4.338,6	-4.339,8	-4.341,0	-4.342,0	-4.342,8	-4.343,6	-4.344,2	-4.344,7	-4.345,1	-270
-250	-4.313,2	-4.316,1	-4.318,8	-4.321,4	-4.323,9	-4.326,2	-4.328,3	-4.330,4	-4.332,3	-4.334,1	-4.335,7	-260
-240	-4.277,0	-4.281,2	-4.285,4	-4.289,3	-4.293,2	-4.296,9	-4.300,4	-4.303,8	-4.307,1	-4.310,3	-4.313,2	-250
-230	-4.226,5	-4.232,2	-4.237,7	-4.243,1	-4.248,4	-4.253,5	-4.258,5	-4.263,3	-4.268,0	-4.272,6	-4.277,0	-240
-220	-4.161,7	-4.168,9	-4.175,8	-4.182,6	-4.189,3	-4.195,9	-4.202,3	-4.208,5	-4.214,7	-4.220,6	-4.226,5	-230
-210	-4.082,9	-4.091,4	-4.099,8	-4.108,0	-4.116,1	-4.124,1	-4.131,9	-4.139,6	-4.147,1	-4.154,5	-4.161,7	-220
-200	-3.990,4	-4.000,2	-4.010,0	-4.019,6	-4.029,0	-4.038,4	-4.047,5	-4.056,6	-4.065,5	-4.074,3	-4.082,9	-210
-190	-3.884,5	-3.895,6	-3.906,7	-3.917,6	-3.928,4	-3.939,1	-3.949,6	-3.960,0	-3.970,2	-3.980,4	-3.990,4	-200
-180	-3.765,6	-3.778,1	-3.790,4	-3.802,6	-3.814,7	-3.826,6	-3.838,5	-3.850,2	-3.861,7	-3.873,2	-3.884,5	-190
-170	-3.634,4	-3.648,0	-3.661,6	-3.675,0	-3.688,3	-3.701,5	-3.714,6	-3.727,5	-3.740,4	-3.753,1	-3.765,6	-180
-160	-3.491,1	-3.506,0	-3.520,7	-3.535,3	-3.549,8	-3.564,2	-3.578,5	-3.592,6	-3.606,7	-3.620,6	-3.634,4	-170
-150	-3.336,3	-3.352,3	-3.368,2	-3.384,0	-3.399,6	-3.415,1	-3.430,6	-3.445,9	-3.461,1	-3.476,1	-3.491,1	-160
-140	-3.170,5	-3.187,6	-3.204,5	-3.221,4	-3.238,1	-3.254,8	-3.271,3	-3.287,7	-3.304,0	-3.320,2	-3.336,3	-150
-130	-2.994,1	-3.012,2	-3.030,2	-3.048,1	-3.065,9	-3.083,6	-3.101,2	-3.118,7	-3.136,1	-3.153,3	-3.170,5	-140
-120	-2.807,7	-2.826,8	-2.845,8	-2.864,7	-2.883,5	-2.902,2	-2.920,8	-2.939,2	-2.957,6	-2.975,9	-2.994,1	-130
-110	-2.611,8	-2.631,8	-2.651,7	-2.671,5	-2.691,2	-2.710,9	-2.730,4	-2.749,9	-2.769,3	-2.788,5	-2.807,7	-120
-100	-2.406,8	-2.427,7	-2.448,5	-2.469,2	-2.489,8	-2.510,4	-2.530,8	-2.551,2	-2.571,5	-2.591,7	-2.611,8	-110
-90	-2.193,5	-2.215,2	-2.236,8	-2.258,3	-2.279,8	-2.301,2	-2.322,4	-2.343,7	-2.364,8	-2.385,8	-2.406,8	-100
-80	-1.972,3	-1.994,8	-2.017,2	-2.039,5	-2.061,7	-2.083,8	-2.105,9	-2.127,9	-2.149,8	-2.171,7	-2.193,5	-90
-70	-1.744,0	-1.767,2	-1.790,2	-1.813,2	-1.836,2	-1.859,0	-1.881,8	-1.904,6	-1.927,2	-1.949,8	-1.972,3	-80
-60	-1.509,2	-1.533,0	-1.556,7	-1.580,3	-1.603,9	-1.627,4	-1.650,9	-1.674,3	-1.697,6	-1.720,8	-1.744,0	-70
-50	-1.268,6	-1.292,9	-1.317,2	-1.341,4	-1.365,5	-1.389,6	-1.413,7	-1.437,6	-1.461,6	-1.485,4	-1.509,2	-60
-40	-1.022,8	-1.047,6	-1.072,3	-1.097,0	-1.121,7	-1.146,3	-1.170,8	-1.195,4	-1.219,8	-1.244,2	-1.268,6	-50
-30	-772,4	-797,6	-822,8	-847,9	-873,0	-898,1	-923,1	-948,1	-973,0	-997,9	-1.022,8	-40
-20	-518,0	-543,6	-569,2	-594,7	-620,2	-645,7	-671,1	-696,5	-721,8	-747,1	-772,4	-30
-10	-260,4	-286,3	-312,2	-338,0	-363,8	-389,6	-415,4	-441,1	-466,8	-492,4	-518,0	-20
0	0,0	-26,1	-52,3	-78,4	-104,5	-130,5	-156,5	-182,5	-208,5	-234,5	-260,4	-10
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	25,9	51,9	77,9	104,0	130,0	156,2	182,3	208,5	234,7	260,9	10
10	260,9	287,2	313,5	339,8	366,2	392,6	419,1	445,5	472,0	498,6	525,2	20
20	525,2	551,8	578,5	605,2	631,9	658,6	685,4	712,3	739,2	766,1	793,0	30
30	793,0	820,0	847,0	874,1	901,2	928,3	955,5	982,7	1.009,9	1.037,2	1.064,5	40
40	1.064,5	1.091,9	1.119,3	1.146,7	1.174,2	1.201,7	1.229,3	1.256,8	1.284,5	1.312,1	1.339,8	50
50	1.339,8	1.367,6	1.395,3	1.423,2	1.451,0	1.478,9	1.506,9	1.534,8	1.562,8	1.590,9	1.619,0	60
60	1.619,0	1.647,1	1.675,3	1.703,5	1.731,7	1.760,0	1.788,3	1.816,7	1.845,1	1.873,5	1.902,0	70
70	1.902,0	1.930,5	1.959,0	1.987,6	2.016,3	2.044,9	2.073,6	2.102,4	2.131,2	2.160,0	2.188,9	80
80	2.188,9	2.217,8	2.246,7	2.275,7	2.304,7	2.333,7	2.362,8	2.392,0	2.421,1	2.450,3	2.479,6	90
90	2.479,6	2.508,9	2.538,2	2.567,5	2.596,9	2.626,4	2.655,9	2.685,4	2.714,9	2.744,5	2.774,1	100
100	2.774,1	2.803,8	2.833,5	2.863,2	2.893,0	2.922,8	2.952,7	2.982,5	3.012,5	3.042,4	3.072,4	110
110	3.072,4	3.102,5	3.132,5	3.162,6	3.192,8	3.223,0	3.253,2	3.283,4	3.313,7	3.344,1	3.374,4	120
120	3.374,4	3.404,8	3.435,3	3.465,7	3.496,3	3.526,8	3.557,4	3.588,0	3.618,6	3.649,3	3.680,1	130
130	3.680,1	3.710,8	3.741,6	3.772,4	3.803,3	3.834,2	3.865,1	3.896,1	3.927,1	3.958,2	3.989,2	140
140	3.989,2	4.020,3	4.051,5	4.082,7	4.113,9	4.145,1	4.176,4	4.207,7	4.239,0	4.270,4	4.301,8	150
150	4.301,8	4.333,3	4.364,8	4.396,3	4.427,8	4.459,4	4.491,0	4.522,7	4.554,4	4.586,1	4.617,8	160
160	4.617,8	4.649,6	4.681,4	4.713,3	4.745,1	4.777,0	4.809,0	4.841,0	4.873,0	4.905,0	4.937,1	170
170	4.937,1	4.969,2	5.001,3	5.033,5	5.065,7	5.097,9	5.130,1	5.162,4	5.194,7	5.227,1	5.259,5	180
180	5.259,5	5.291,9	5.324,3	5.356,8	5.389,3	5.421,8	5.454,4	5.487,0	5.519,6	5.552,3	5.585,0	190
190	5.585,0	5.617,7	5.650,4	5.683,2	5.716,0	5.748,8	5.781,7	5.814,6	5.847,5	5.880,4	5.913,4	200
200	5.913,4	5.946,4	5.979,5	6.012,5	6.045,6	6.078,7	6.111,9	6.145,1	6.178,3	6.211,5	6.244,7	210
210	6.244,7	6.278,0	6.311,3	6.344,7	6.378,1	6.411,5	6.444,9	6.478,3	6.511,8	6.545,3	6.578,9	220
220	6.578,9	6.612,4	6.646,0	6.679,6	6.713,3	6.746,9	6.780,6	6.814,3	6.848,1	6.881,9	6.915,7	230
230	6.915,7	6.949,5	6.983,3	7.017,2	7.051,1	7.085,0	7.119,0	7.153,0	7.187,0	7.221,0	7.255,1	240
240	7.255,1	7.289,1	7.323,2	7.357,4	7.391,5	7.425,7	7.459,9	7.494,1	7.528,4	7.562,7	7.597,0	250
250	7.597,0	7.631,3	7.665,6	7.700,0	7.734,4	7.768,8	7.803,3	7.837,7	7.872,2	7.906,7	7.941,3	260
260	7.941,3	7.975,8	8.010,4	8.045,0	8.079,7	8.114,3	8.149,0	8.183,7	8.218,4	8.253,2	8.287,9	270
270	8.287,9	8.322,7	8.357,5	8.392,4	8.427,2	8.462,1	8.497,0	8.532,0	8.566,9	8.601,9	8.636,9	280
280	8.636,9	8.671,9	8.706,9	8.742,0	8.777,0	8.812,1	8.847,3	8.882,4	8.917,6	8.952,7	8.988,0	290
290	8.988,0	9.023,2	9.058,4	9.093,7	9.129,0	9.164,3	9.199,6	9.235,0	9.270,3	9.305,7	9.341,2	300
300	9.341,2	9.376,6	9.412,0	9.447,5	9.483,0	9.518,5	9.554,0	9.589,6	9.625,6	9.660,8	9.696,4	310
310	9.696,4	9.732,0	9.767,7	9.803,3	9.839,0	9.874,7	9.910,5	9.946,2	9.982,0	10.017,8	10.053,6	320
320	10.053,6	10.089,4	10.125,2	10.161,1	10.197,0	10.232,9	10.268,8	10.304,7	10.340,7	10.376,6	10.412,6	330
330	10.412,6	10.448,6	10.484,7	10.520,7	10.556,8	10.592,9	10.629,0	10.665,1	10.701,2	10.737,4	10.773,5	340
340	10.773,5	10.809,7	10.845,9	10.882,1	10.918,4	10.954,6	10.990,9	11.027,2	11.063,5	11.099,8	11.136,2	350
350	11.136,2	11.172,5	11.208,9	11.245,3	11.281,7	11.318,1	11.354,6	11.391,0	11.427,5	11.464,0	11.500,5	360
360	11.500,5	11.537,1	11.573,6	11.610,2	11.646,7	11.683,3	11.719,9	11.756,5	11.793,2	11.829,8	11.866,5	370
370	11.866,5	11.903,2	11.939,9	11.976,6	12.013,3	12.050,1	12.086,9	12.123,6	12.160,4	12.197,2	12.234,1	380
380	12.234,1	12.270,9	12.307,8	12.344,6	12.381,5	12.418,4	12.455,3	12.492,3	12.529,2	12.566,2	12.603,1	390
390	12.603,1	12.640,1	12.677,1	12.714,2	12.751,2	12.788,2	12.825,3	12.862,4	12.899,5	12.936,6	12.973,7	400
400	12.973,7	13.010,8	13.048,0	13.085,1	13.122,3	13.159,5	13.196,7	13.233,9	13.271,1	13.308,4	13.345,6	410
410	13.345,6	13.382,9	13.420,2	13.457,5	13.494,8	13.532,1	13.569,5	13.606,8	13.644,2	13.681,5	13.718,9	420
420	13.718,9	13.756,3	13.793,7	13.831,2	13.868,6	13.906,1	13.943,5	13.981,0	14.018,5	14.056,0	14.093,5	430
430	14.093,5	14.131,1	14.168,6	14.206,2	14.243,7	14.281,3	14.318,9	14.356,5	14.394,1	14.431,7	14.469,4	440
440	14.469,4	14.507,0	14.544,7	14.582,4	14.620,1	14.657,8	14.695,5	14.733,2	14.770,9	14.808,7	14.846,4	450
450	14.846,4	14.884,2	14.922,0	14.959,8	14.997,6	15.035,4	15.073,2	15.111,0	15.148,9	15.186,7	15.224,6	460
460	15.224,6	15.262,5	15.300,4	15.338,3	15.376,2	15.414,1	15.452,1	15.490,0	15.528,0	15.565,9	15.603,9	470
470	15.603,9	15.641,9	15.679,9	15.717,9	15.755,9	15.793,9	15.832,0	15.870,0	15.908,1	15.946,2	15.984,2	480

Valores da força eletromotriz ( µV ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
480	15.984,2	16.022,3	16.060,4	16.098,5	16.136,7	16.174,8	16.212,9	16.251,1	16.289,2	16.327,4	16.365,6	490
490	16.365,6	16.403,8	16.442,0	16.480,2	16.518,4	16.556,6	16.594,8	16.633,1	16.671,3	16.709,6	16.747,9	500
500	16.747,9	16.786,1	16.824,4	16.862,7	16.901,0	16.939,3	16.977,7	17.016,0	17.054,3	17.092,7	17.131,0	510
510	17.131,0	17.169,4	17.207,8	17.246,2	17.284,6	17.323,0	17.361,4	17.399,8	17.438,2	17.361,4	17.515,1	520
520	17.515,1	17.553,6	17.592,0	17.630,5	17.669,0	17.707,4	17.745,9	17.784,4	17.822,9	17.861,4	17.900,0	530
530	17.900,0	17.938,5	17.977,0	18.015,6	18.054,1	18.092,7	18.131,3	18.169,8	18.208,4	18.247,0	18.285,6	540
540	18.285,6	18.324,2	18.362,8	18.401,4	18.440,1	18.478,7	18.517,3	18.556,0	18.594,6	18.633,3	18.672,0	550
550	18.672,0	18.710,6	18.749,3	18.788,0	18.826,7	18.865,4	18.904,1	18.942,8	18.981,5	19.020,3	19.059,0	560
560	19.059,0	19.097,7	19.136,5	19.175,2	19.214,0	19.252,8	19.291,5	19.330,3	19.369,1	19.407,9	19.446,7	570
570	19.446,7	19.485,5	19.524,3	19.563,1	19.601,9	19.640,7	19.679,6	19.718,4	19.757,2	19.796,1	19.834,9	580
580	19.834,9	19.873,8	19.912,7	19.951,5	19.990,4	20.029,3	20.068,2	20.107,1	20.146,0	20.184,9	20.223,8	590
590	20.223,8	20.262,7	20.301,6	20.340,5	20.379,4	20.418,4	20.457,3	20.496,3	20.535,2	20.574,2	20.613,1	600
600	20.613,1	20.652,1	20.691,0	20.730,0	20.769,0	20.808,0	20.846,9	20.885,9	20.924,9	20.963,9	21.002,9	610
610	21.002,9	21.041,9	21.080,9	21.120,0	21.159,0	21.198,0	21.237,0	21.276,1	21.315,1	21.354,1	21.393,2	620
620	21.393,2	21.432,2	21.471,3	21.510,3	21.549,4	21.588,5	21.627,5	21.666,6	21.705,7	21.744,7	21.783,8	630
630	21.783,8	21.822,9	21.862,0	21.901,1	21.940,2	21.979,3	22.018,4	22.057,5	22.096,6	22.135,7	22.174,8	640
640	22.174,8	22.214,0	22.253,1	22.292,2	22.331,3	22.370,5	22.409,6	22.448,8	22.487,9	22.527,0	22.566,2	650
650	22.566,2	22.605,3	22.644,5	22.683,7	22.722,8	22.762,0	22.801,1	22.840,3	22.879,5	22.918,7	22.957,8	660
660	22.957,8	22.997,0	23.036,2	23.075,4	23.114,6	23.153,7	23.192,9	23.232,1	23.271,3	23.310,5	23.349,7	670
670	23.349,7	23.388,9	23.428,1	23.467,3	23.506,5	23.545,8	23.585,0	23.624,2	23.663,4	23.702,6	23.741,8	680
680	23.741,8	23.781,1	23.820,3	23.859,5	23.898,8	23.938,0	23.977,2	24.016,5	24.055,7	24.094,9	24.134,2	690
690	24.134,2	24.173,4	24.212,7	24.251,9	24.291,1	24.330,4	24.369,6	24.408,9	24.448,1	24.487,4	24.526,7	700
700	24.526,7	24.565,9	24.605,2	24.644,4	24.683,7	24.722,9	24.762,2	24.801,5	24.840,7	24.880,0	24.919,3	710
710	24.919,3	24.958,5	24.997,8	25.037,1	25.076,4	25.115,6	25.154,9	25.194,2	25.233,4	25.272,7	25.312,0	720
720	25.312,0	25.351,3	25.390,6	25.429,8	25.469,1	25.508,4	25.547,7	25.587,0	25.626,2	25.665,5	25.704,8	730
730	25.704,8	25.744,1	25.783,4	25.822,7	25.861,9	25.901,2	25.940,5	25.979,8	26.019,1	26.058,4	26.097,7	740
740	26.097,7	26.137,0	26.176,2	26.215,5	26.254,8	26.294,1	26.333,4	26.372,7	26.412,0	26.451,3	26.490,5	750
750	26.490,5	26.529,8	26.569,1	26.608,4	26.647,7	26.687,0	26.726,3	26.765,6	26.804,9	26.844,1	26.883,4	760
760	26.883,4	26.922,7	26.962,0	27.001,3	27.040,6	27.079,9	27.119,2	27.158,4	27.197,7	27.237,0	27.276,3	770
770	27.276,3	27.315,6	27.354,9	27.394,2	27.433,4	27.472,7	27.512,0	27.551,3	27.590,6	27.629,8	27.669,1	780
780	27.669,1	27.708,4	27.747,7	27.786,9	27.826,2	27.865,5	27.904,8	27.944,0	27.983,3	28.022,6	28.061,9	790
790	28.061,9	28.101,1	28.140,4	28.179,7	28.218,9	28.258,2	28.297,5	28.336,7	28.376,0	28.415,3	28.454,5	800
800	28.454,5	28.493,8	28.533,0	28.572,3	28.611,6	28.650,8	28.690,1	28.729,3	28.768,6	28.807,8	28.847,1	810
810	28.847,1	28.886,3	28.925,6	28.964,8	29.004,0	29.043,3	29.082,5	29.121,8	29.161,0	29.200,2	29.239,5	820
820	29.239,5	29.278,7	29.317,9	29.357,2	29.396,4	29.435,6	29.474,8	29.514,1	29.553,3	29.592,5	29.631,7	830
830	29.631,7	29.670,9	29.710,1	29.749,3	29.788,6	29.827,8	29.867,0	29.906,2	29.945,4	29.984,6	30.023,8	840
840	30.023,8	30.063,0	30.102,2	30.141,4	30.180,5	30.219,7	30.258,9	30.298,1	30.337,3	30.376,5	30.415,6	850
850	30.415,6	30.454,8	30.494,0	30.533,2	30.572,3	30.611,5	30.650,7	30.689,8	30.729,0	30.768,1	30.807,3	860
860	30.807,3	30.846,4	30.885,6	30.924,7	30.963,9	31.003,0	31.042,2	31.081,3	31.120,4	31.159,6	31.198,7	870
870	31.198,7	31.237,8	31.276,9	31.316,1	31.355,2	31.394,3	31.433,4	31.472,5	31.511,6	31.550,7	31.589,8	880
880	31.589,8	31.628,9	31.668,0	31.707,1	31.746,2	31.785,3	31.824,4	31.863,5	31.902,6	31.941,6	31.980,7	890
890	31.980,7	32.019,8	32.058,8	32.097,9	32.137,0	32.176,0	32.215,1	32.254,1	32.293,2	32.332,2	32.371,3	900
900	32.371,3	32.410,3	32.449,3	32.488,4	32.527,4	32.566,4	32.605,4	32.644,5	32.683,5	32.722,5	32.761,5	910
910	32.761,5	32.800,5	32.839,5	32.878,5	32.917,5	32.956,5	32.995,5	33.034,4	33.073,4	33.112,4	33.151,4	920
920	33.151,4	33.190,3	33.229,3	33.268,3	33.307,2	33.346,2	33.385,1	33.424,1	33.463,0	33.502,0	33.540,9	930
930	33.540,9	33.579,8	33.618,8	33.657,7	33.696,6	33.735,5	33.774,4	33.813,3	33.852,2	33.891,1	33.930,0	940
940	33.930,0	33.968,9	34.007,8	34.046,7	34.085,6	34.124,5	34.163,3	34.202,2	34.241,1	34.279,9	34.318,8	950
950	34.318,8	34.357,6	34.396,5	34.435,3	34.474,1	34.513,0	34.551,8	34.590,6	34.629,4	34.668,3	34.707,1	960
960	34.707,1	34.745,9	34.784,7	34.823,5	34.862,3	34.901,0	34.939,8	34.978,6	35.017,4	35.056,1	35.094,9	970
970	35.094,9	35.133,7	35.172,4	35.211,2	35.249,9	35.288,7	35.327,4	35.366,1	35.404,8	35.443,6	35.482,3	980
980	35.482,3	35.521,0	35.559,7	35.598,4	35.637,1	35.675,8	35.714,5	35.753,2	35.791,8	35.830,5	35.869,2	990
990	35.869,2	35.907,8	35.946,5	35.985,1	36.023,8	36.062,4	36.101,1	36.139,7	36.178,3	36.216,9	36.255,5	1000
1000	36.255,5	36.294,1	36.332,7	36.371,3	36.409,9	36.448,5	36.487,1	36.525,7	36.564,3	36.602,8	36.641,4	1010
1010	36.641,4	36.679,9	36.718,5	36.757,0	36.795,6	36.834,1	36.872,7	36.911,1	36.949,6	36.988,2	37.026,7	1020
1020	37.026,7	37.065,2	37.103,6	37.142,1	37.180,6	37.219,1	37.257,5	37.296,0	37.334,5	37.372,9	37.411,4	1030
1030	37.411,4	37.449,8	37.488,2	37.526,7	37.565,1	37.603,5	37.641,9	37.680,3	37.718,7	37.757,1	37.795,5	1040
1040	37.795,5	37.833,8	37.872,2	37.910,6	37.948,9	37.987,3	38.025,6	38.064,0	38.102,3	38.140,6	38.179,0	1050
1050	38.179,0	38.217,3	38.255,6	38.293,9	38.332,2	38.370,5	38.408,8	38.447,0	38.485,3	38.523,6	38.561,8	1060
1060	38.561,8	38.600,1	38.638,3	38.676,6	38.714,8	38.753,0	38.791,2	38.829,4	38.867,7	38.905,9	38.944,0	1070
1070	38.944,0	38.982,2	39.020,4	39.058,6	39.096,7	39.134,9	39.173,0	39.211,2	39.249,3	39.287,5	39.325,6	1080
1080	39.325,6	39.363,7	39.401,8	39.439,9	39.478,0	39.516,1	39.554,2	39.592,3	39.630,3	39.668,4	39.706,4	1090
1090	39.706,4	39.744,5	39.782,5	39.820,6	39.858,6	39.896,6	39.934,6	39.972,6	40.010,6	40.048,6	40.086,6	1100
1100	40.086,6	40.124,6	40.162,6	40.200,5	40.238,5	40.276,4	40.314,4	40.352,3	40.390,2	40.428,1	40.466,0	1110
1110	40.466,0	40.504,0	40.541,8	40.579,7	40.617,6	40.655,5	40.693,4	40.731,2	40.769,1	40.806,9	40.844,8	1120
1120	40.844,8	40.882,6	40.920,4	40.958,2	40.996,0	41.033,8	41.071,6	41.109,4	41.147,2	41.185,0	41.222,7	1130
1130	41.222,7	41.260,5	41.298,2	41.336,0	41.373,7	41.411,4	41.449,1	41.486,9	41.524,6	41.562,2	41.599,9	1140
1140	41.599,9	41.637,6	41.675,3	41.712,9	41.750,6	41.788,2	41.825,9	41.863,5	41.901,1	41.938,8	41.976,4	1150
1150	41.976,4	42.014,0	42.051,6	42.089,1	42.126,7	42.164,3	42.201,8	42.239,4	42.276,9	42.314,5	42.352,0	1160
1160	42.352,0	42.389,5	42.427,0	42.464,5	42.502,0	42.539,5	42.577,0	42.614,5	42.651,9	42.689,4	42.726,8	1170
1170	42.726,8	42.764,3	42.801,7	42.839,1	42.876,6	42.914,0	42.951,4	42.988,7	43.026,1	43.063,5	43.100,9	1180
1180	43.100,9	43.138,2	43.175,6	43.212,9	43.250,2	43.287,6	43.324,9	43.362,2	43.399,5	43.436,8	43.474,0	1190
1190	43.474,0	43.511,3	43.548,6	43.585,8	43.623,1	43.660,3	43.697,5	43.734,8	43.772,0	43.809,2	43.846,4	1200
1200	43.846,4	43.883,5	43.920,7	43.957,9	43.995,0	44.032,2	44.069,3	44.106,5	44.143,6	44.180,7	44.217,8	1210
1210	44.217,8	44.253,9										

Valores da força eletromotriz ( $\mu V$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
1230	44.957,9	44.994,8	45.031,6	45.068,5	45.105,4	45.142,3	45.179,1	45.216,0	45.252,8	45.289,6	45.326,4	1240
1240	45.326,4	45.363,2	45.400,0	45.436,8	45.473,5	45.510,3	45.547,0	45.583,8	45.620,5	45.657,2	45.693,9	1250
1250	45.693,9	45.730,6	45.767,3	45.803,9	45.840,6	45.877,2	45.913,9	45.950,5	45.987,1	46.023,7	46.060,3	1260
1260	46.060,3	46.096,9	46.133,4	46.170,0	46.206,5	46.243,0	46.279,6	46.316,1	46.352,5	46.389,0	46.425,5	1270
1270	46.425,5	46.461,9	46.498,4	46.534,8	46.571,2	46.607,6	46.644,0	46.680,3	46.716,7	46.753,0	46.789,4	1280
1280	46.789,4	46.825,7	46.862,0	46.898,3	46.934,5	46.970,8	47.007,0	47.043,3	47.079,5	47.115,7	47.151,8	1290
1290	47.151,8	47.188,0	47.224,2	47.260,3	47.296,4	47.332,5	47.368,6	47.404,7	47.440,7	47.476,8	47.512,8	1300
1300	47.512,8											

Valores da força eletromotriz (  $\mu V$  ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-40	-187,7	-191,7	-195,7	-199,7	-203,6	-207,5	-211,4	-215,2	-219,0	-222,7	-226,5	-50
-30	-145,5	-149,9	-154,2	-158,5	-162,8	-167,0	-171,2	-175,4	-179,5	-183,6	-187,7	-40
-20	-100,0	-104,7	-109,4	-114,0	-118,6	-123,2	-127,7	-132,2	-136,7	-141,1	-145,5	-30
-10	-51,5	-56,5	-61,4	-66,4	-71,3	-76,1	-81,0	-85,8	-90,6	-95,3	-100,0	-20
0	0,0	-5,3	-10,5	-15,7	-20,9	-26,1	-31,2	-36,3	-41,4	-46,5	-51,5	-10
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	5,3	10,6	16,0	21,4	26,8	32,2	37,7	43,2	48,7	54,3	10
10	54,3	59,8	65,4	71,1	76,7	82,4	88,1	93,8	99,6	105,4	111,2	20
20	111,2	117,0	122,9	128,7	134,6	140,6	146,5	152,5	158,5	164,5	170,6	30
30	170,6	176,7	182,8	188,9	195,0	201,2	207,4	213,6	219,9	226,1	232,4	40
40	232,4	238,7	245,0	251,4	257,8	264,2	270,6	277,0	283,5	290,0	296,5	50
50	296,5	303,0	309,6	316,1	322,7	329,4	336,0	342,7	349,3	356,0	362,7	60
60	362,7	369,5	376,2	383,0	389,8	396,7	403,5	410,4	417,2	424,1	431,1	70
70	431,1	438,0	445,0	451,9	458,9	466,0	473,0	480,0	487,1	494,2	501,3	80
80	501,3	508,5	515,6	522,8	530,0	537,2	544,4	551,6	558,9	566,2	573,5	90
90	573,5	580,8	588,1	595,5	602,8	610,2	617,6	625,0	632,5	639,9	647,4	100
100	647,4	654,9	662,4	669,9	667,4	685,0	692,6	700,2	707,8	715,4	723,0	110
110	723,0	730,7	738,3	746,0	753,7	761,4	769,2	776,9	784,7	792,5	800,3	120
120	800,3	808,1	815,9	823,7	831,6	839,5	847,4	855,3	863,2	871,1	879,1	130
130	879,1	887,0	895,0	903,0	911,0	919,0	927,1	935,1	943,2	951,2	959,3	140
140	959,3	967,4	975,5	983,7	991,8	1.000,0	1.008,2	1.016,4	1.024,6	1.032,8	1.041,0	150
150	1.041,0	1.049,3	1.057,5	1.065,8	1.074,1	1.082,4	1.090,7	1.099,0	1.107,3	1.115,7	1.124,1	160
160	1.124,1	1.132,4	1.140,8	1.149,2	1.157,6	1.166,1	1.174,5	1.183,0	1.191,4	1.199,9	1.208,4	170
170	1.208,4	1.216,9	1.225,4	1.233,9	1.242,5	1.251,0	1.259,6	1.268,2	1.276,7	1.285,3	1.294,0	180
180	1.294,0	1.302,6	1.311,2	1.319,9	1.328,5	1.337,2	1.345,9	1.354,6	1.363,3	1.372,0	1.380,7	190
190	1.380,7	1.389,4	1.398,2	1.406,9	1.415,7	1.424,5	1.433,3	1.442,1	1.450,9	1.459,7	1.468,6	200
200	1.468,6	1.477,4	1.486,3	1.495,2	1.504,0	1.512,9	1.521,8	1.530,7	1.539,7	1.548,6	1.557,6	210
210	1.557,6	1.566,5	1.575,5	1.584,4	1.593,4	1.602,4	1.611,4	1.620,5	1.629,5	1.638,5	1.647,6	220
220	1.647,6	1.656,6	1.665,7	1.674,8	1.683,8	1.692,9	1.702,0	1.711,2	1.720,3	1.729,4	1.738,6	230
230	1.738,6	1.747,7	1.756,9	1.766,1	1.775,2	1.784,4	1.793,6	1.802,9	1.812,1	1.821,3	1.830,5	240
240	1.830,5	1.839,8	1.849,0	1.858,3	1.867,6	1.876,9	1.886,2	1.895,5	1.904,8	1.914,1	1.923,4	250
250	1.923,4	1.932,8	1.942,1	1.951,5	1.960,8	1.970,2	1.979,6	1.989,0	1.998,4	2.007,8	2.017,2	260
260	2.017,2	2.026,6	2.036,1	2.045,5	2.055,0	2.064,4	2.073,9	2.083,4	2.092,8	2.102,3	2.111,8	270
270	2.111,8	2.121,4	2.130,9	2.140,4	2.149,9	2.159,5	2.169,0	2.178,6	2.188,1	2.197,7	2.207,3	280
280	2.207,3	2.216,9	2.226,5	2.236,1	2.245,7	2.255,3	2.264,9	2.274,6	2.284,2	2.293,9	2.303,5	290
290	2.303,5	2.313,2	2.322,9	2.332,6	2.342,3	2.352,0	2.361,7	2.371,4	2.381,1	2.390,8	2.400,6	300
300	2.400,6	2.410,3	2.420,0	2.429,8	2.439,6	2.449,3	2.459,1	2.468,9	2.478,7	2.488,5	2.498,3	310
310	2.498,3	2.508,1	2.517,9	2.527,8	2.537,6	2.547,4	2.557,3	2.567,2	2.577,0	2.586,9	2.596,8	320
320	2.596,8	2.606,6	2.616,5	2.626,4	2.636,3	2.646,3	2.656,2	2.666,1	2.676,0	2.686,0	2.695,9	330
330	2.695,9	2.705,9	2.715,8	2.725,8	2.735,8	2.745,7	2.755,7	2.765,7	2.775,7	2.785,7	2.795,7	340
340	2.795,7	2.805,8	2.815,8	2.825,9	2.835,8	2.845,9	2.855,9	2.866,0	2.876,1	2.886,1	2.896,2	350
350	2.896,2	2.906,3	2.916,4	2.926,5	2.936,6	2.946,7	2.956,8	2.966,9	2.977,0	2.987,2	2.997,3	360
360	2.997,3	3.007,5	3.017,6	3.027,8	3.037,9	3.048,1	3.058,3	3.068,4	3.078,6	3.088,8	3.099,0	370
370	3.099,0	3.109,2	3.119,4	3.129,7	3.139,9	3.150,1	3.160,3	3.170,6	3.180,8	3.191,1	3.201,3	380
380	3.201,3	3.211,6	3.221,9	3.232,1	3.242,4	3.252,7	3.263,0	3.273,3	3.283,6	3.293,9	3.304,2	390
390	3.304,2	3.314,5	3.324,9	3.335,2	3.345,5	3.355,9	3.366,2	3.376,6	3.386,9	3.397,3	3.407,7	400
400	3.407,7	3.418,1	3.428,4	3.438,8	3.449,2	3.459,6	3.470,0	3.480,4	3.490,9	3.501,3	3.511,7	410
410	3.511,7	3.522,1	3.532,6	3.543,0	3.553,5	3.563,9	3.574,4	3.584,8	3.595,3	3.605,8	3.616,3	420
420	3.616,3	3.626,7	3.637,2	3.647,7	3.658,2	3.668,7	3.679,3	3.689,8	3.700,3	3.710,8	3.721,4	430
430	3.721,4	3.731,9	3.742,4	3.753,0	3.763,5	3.774,1	3.784,7	3.795,2	3.805,8	3.816,4	3.827,0	440
440	3.827,0	3.837,6	3.848,2	3.858,8	3.869,4	3.880,0	3.890,6	3.901,2	3.911,8	3.922,5	3.933,1	450
450	3.933,1	3.943,7	3.954,4	3.965,0	3.975,7	3.986,4	3.997,0	4.007,7	4.018,4	4.029,1	4.039,7	460
460	4.039,7	4.050,4	4.061,1	4.071,8	4.082,5	4.093,3	4.104,0	4.114,7	4.125,4	4.136,2	4.146,9	470
470	4.146,9	4.157,6	4.168,4	4.179,1	4.189,9	4.200,6	4.211,4	4.222,2	4.233,0	4.243,7	4.254,5	480
480	4.254,5	4.265,3	4.276,1	4.286,9	4.297,7	4.308,5	4.319,3	4.330,2	4.341,0	4.351,8	4.362,6	490
490	4.362,6	4.373,5	4.384,3	4.395,2	4.406,0	4.416,9	4.427,8	4.438,6	4.449,5	4.460,4	4.471,3	500
500	4.471,3	4.482,1	4.493,0	4.503,9	4.514,8	4.525,7	4.536,7	4.547,6	4.558,5	4.569,4	4.580,4	510
510	4.580,4	4.591,3	4.602,2	4.613,2	4.624,1	4.635,1	4.646,0	4.657,0	4.668,0	4.679,0	4.689,9	520
520	4.689,9	4.700,9	4.711,9	4.722,9	4.733,9	4.744,9	4.755,9	4.766,9	4.777,9	4.788,9	4.800,0	530
530	4.800,0	4.811,0	4.822,0	4.833,1	4.844,1	4.855,2	4.866,2	4.877,3	4.888,3	4.899,4	4.910,5	540
540	4.910,5	4.921,6	4.932,6	4.943,7	4.954,8	4.965,9	4.977,0	4.988,1	4.999,2	5.010,4	5.021,5	550
550	5.021,5	5.032,6	5.043,7	5.054,9	5.066,0	5.077,1	5.088,3	5.099,4	5.110,6	5.121,8	5.132,9	560
560	5.132,9	5.144,1	5.155,3	5.166,5	5.177,6	5.188,8	5.200,0	5.211,2	5.222,4	5.233,6	5.244,9	570
570	5.244,9	5.256,1	5.267,3	5.278,5	5.289,8	5.301,0	5.312,2	5.323,5	5.334,7	5.346,0	5.357,3	580
580	5.357,3	5.368,5	5.379,8	5.391,1	5.402,3	5.413,6	5.424,9	5.436,2	5.447,5	5.458,8	5.470,1	590
590	5.470,1	5.481,4	5.492,7	5.504,1	5.515,4	5.526,7	5.538,1	5.549,4	5.560,7	5.572,1	5.583,5	600
600	5.583,5	5.594,8	5.606,2	5.617,5	5.628,9	5.640,3	5.651,7	5.663,1	5.674,5	5.685,9	5.697,3	610
610	5.697,3	5.708,7	5.720,1	5.731,5	5.742,9	5.754,3	5.765,8	5.777,2	5.788,6	5.800,1	5.811,5	620
620	5.811,5	5.823,0	5.834,4	5.845,9	5.857,4	5.868,8	5.880,3	5.891,8	5.903,3	5.914,8	5.926,3	630
630	5.926,3	5.937,8	5.949,3	5.960,8	5.972,3	5.983,8	5.995,3	6.006,9	6.018,4	6.029,9	6.041,5	640
640	6.041,5	6.053,0	6.064,6	6.076,1	6.087,7	6.099,3	6.110,8	6.122,4	6.134,0	6.145,6	6.157,2	650
650	6.157,2	6.168,8	6.180,4	6.192,0	6.203,6	6.215,2	6.226,8	6.238,4	6.250,1	6.261,7	6.273,3	660
660	6.273,3	6.285,0	6.296,6	6.308,3	6.319,9	6.331,6	6.343,3	6.354,9	6.366,6	6.378,3	6.390,0	670
670	6.390,0	6.401,7	6.413,3	6.425,0	6.436,7	6.448,5	6.460,2	6.471,9	6.483,6	6.495,3	6.507,1	680
680	6.507,1	6.518,8	6.530,6	6.542,3	6.554,0	6.565,8	6.577,6	6.589,3	6.601,1	6.612,9	6.624,7	690
690	6.624,7	6.636,4	6.648,2	6.660,0	6.671,8	6.683,6	6.695,4	6.707,3	6.719,1	6.730,9	6.742,7	700



Valores da força eletromotriz ( $\mu V$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
1450	16.746,2	16.760,3	16.774,4	16.788,5	16.802,6	16.816,7	16.830,8	16.844,9	16.859,0	16.873,2	16.887,3	1460
1460	16.887,3	16.901,4	16.915,5	16.929,6	16.943,7	16.957,8	16.971,9	16.986,0	17.000,1	17.014,2	17.028,2	1470
1470	17.028,2	17.042,3	17.056,4	17.070,5	17.084,6	17.098,7	17.112,8	17.126,9	17.141,0	17.155,1	17.169,2	1480
1480	17.169,2	17.183,2	17.197,3	17.211,4	17.225,5	17.239,6	17.253,6	17.267,7	17.281,8	17.295,9	17.310,0	1490
1490	17.310,0	17.324,0	17.338,1	17.352,2	17.366,3	17.380,3	17.394,4	17.408,5	17.422,5	17.436,6	17.450,7	1500
1500	17.450,7	17.464,7	17.478,8	17.492,8	17.506,9	17.521,0	17.535,0	17.549,1	17.563,1	17.577,2	17.591,2	1510
1510	17.591,2	17.605,3	17.619,3	17.633,4	17.647,4	17.661,5	17.675,5	17.689,5	17.703,6	17.717,6	17.731,7	1520
1520	17.731,7	17.745,7	17.759,7	17.773,8	17.787,8	17.801,8	17.815,9	17.829,9	17.843,9	17.857,9	17.872,0	1530
1530	17.872,0	17.886,0	17.900,0	17.914,0	17.928,0	17.942,0	17.956,1	17.970,1	17.984,1	17.998,1	18.012,1	1540
1540	18.012,1	18.026,1	18.040,1	18.054,1	18.068,1	18.082,1	18.096,1	18.110,1	18.124,1	18.138,1	18.152,1	1550
1550	18.152,1	18.166,0	18.180,0	18.194,0	18.208,0	18.222,0	18.235,9	18.249,9	18.263,9	18.277,9	18.291,8	1560
1560	18.291,8	18.305,8	18.319,8	18.333,7	18.347,7	18.361,7	18.375,6	18.389,6	18.403,5	18.417,5	18.431,4	1570
1570	18.431,4	18.445,4	18.459,3	18.473,3	18.487,2	18.501,2	18.515,1	18.529,0	18.543,0	18.556,9	18.570,8	1580
1580	18.570,8	18.584,7	18.598,7	18.612,6	18.626,5	18.640,4	18.654,4	18.668,3	18.682,2	18.696,1	18.710,0	1590
1590	18.710,0	18.723,9	18.737,8	18.751,7	18.765,6	18.779,5	18.793,4	18.807,3	18.821,2	18.835,1	18.848,9	1600
1600	18.848,9	18.862,8	18.876,7	18.890,6	18.904,5	18.918,3	18.932,2	18.946,1	18.959,9	18.973,8	18.987,6	1610
1610	18.987,6	19.001,5	19.015,4	19.029,2	19.043,1	19.056,9	19.070,7	19.084,6	19.098,4	19.112,3	19.126,1	1620
1620	19.126,1	19.139,9	19.153,8	19.167,6	19.181,4	19.195,2	19.209,0	19.222,9	19.236,7	19.250,5	19.264,3	1630
1630	19.264,3	19.278,1	19.291,9	19.305,7	19.319,5	19.333,3	19.347,1	19.360,9	19.374,6	19.388,4	19.402,2	1640
1640	19.402,2	19.416,0	19.429,7	19.443,5	19.457,3	19.471,0	19.484,8	19.498,6	19.512,3	19.526,1	19.539,8	1650
1650	19.539,8	19.553,6	19.567,3	19.581,0	19.594,8	19.608,5	19.622,2	19.636,0	19.649,7	19.663,4	19.677,1	1660
1660	19.677,1	19.690,9	19.704,6	19.718,3	19.732,0	17.745,7	19.759,4	19.773,1	19.786,8	19.800,5	19.814,1	1670
1670	19.814,1	19.827,8	19.841,5	19.855,2	19.868,8	19.882,5	19.896,1	19.909,8	19.923,4	19.937,1	19.950,7	1680
1680	19.950,7	19.964,3	19.977,9	19.991,6	20.005,2	20.018,8	20.032,3	20.045,9	20.059,5	20.073,1	20.086,6	1690
1690	20.086,6	20.100,2	20.113,7	20.127,2	20.140,8	20.154,3	20.167,8	20.181,3	20.194,8	20.208,2	20.221,7	1700
1700	20.221,7	20.235,1	20.248,6	20.262,0	20.275,4	20.288,8	20.302,2	20.315,6	20.329,0	20.342,4	20.355,7	1710
1710	20.355,7	20.369,0	20.382,4	20.395,7	20.409,0	20.422,3	20.435,5	20.448,8	20.462,0	20.475,2	20.488,5	1720
1720	20.488,5	20.501,7	20.514,8	20.528,0	20.541,2	20.554,3	20.567,4	20.580,5	20.593,6	20.606,7	20.619,7	1730
1730	20.619,7	20.632,8	20.645,8	20.658,8	20.671,8	20.684,8	20.697,7	20.710,6	20.723,6	20.736,5	20.749,3	1740
1740	20.749,3	20.762,2	20.775,0	20.787,8	20.800,6	20.813,4	20.826,2	20.838,9	20.851,7	20.864,4	20.877,0	1750
1750	20.877,0	20.889,7	20.902,3	20.914,9	20.927,5	20.940,1	20.952,7	20.965,2	20.977,7	20.990,2	21.002,6	1760
1760	21.002,6	21.015,1	21.027,5	21.039,9	21.052,2	21.064,6	21.076,9	21.089,2	21.101,5			1770

Valores da força eletromotriz ( $\mu\text{V}$ ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-40	-194,4	-198,7	-202,9	-207,1	-211,3	-215,4	-219,5	-223,5	-227,6	-231,6	-235,6	-50
-30	-150,1	-154,7	-159,2	-163,7	-168,2	-172,6	-177,1	-181,4	-185,8	-190,1	-194,4	-40
-20	-102,8	-107,7	-112,5	-117,3	-122,1	-126,8	-131,5	-136,2	-140,9	-145,5	-150,1	-30
-10	-52,7	-57,9	-63,0	-68,1	-73,1	-78,1	-83,1	-88,1	-93,0	-97,9	-102,8	-20
0	0,0	-5,4	-10,8	-16,1	-21,4	-26,7	-32,0	-37,2	-42,4	-47,6	-52,7	-10
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	5,4	10,9	16,3	21,8	27,3	32,9	38,4	44,0	49,6	55,3	10
10	55,3	60,9	66,6	72,3	78,0	83,8	89,6	95,4	101,2	107,1	112,9	20
20	112,9	118,8	124,7	130,7	136,6	142,6	148,6	154,6	160,7	166,7	172,8	30
30	172,8	178,9	185,1	191,2	197,4	203,6	209,8	216,0	222,3	228,6	234,9	40
40	234,9	241,2	247,5	253,9	260,3	266,7	273,1	279,5	286,0	292,4	298,9	50
50	298,9	305,9	312,0	318,5	325,1	331,7	338,3	344,9	351,6	358,2	364,9	60
60	364,9	371,6	378,3	385,0	391,8	398,6	405,4	412,2	419,0	425,8	432,7	70
70	432,7	439,5	446,4	453,3	460,3	467,2	474,2	481,1	488,1	495,1	502,2	80
80	502,2	509,2	516,3	523,3	530,4	537,5	544,6	551,8	558,9	566,1	573,3	90
90	573,3	580,5	587,7	594,9	602,1	609,4	616,7	624,0	631,3	638,6	645,9	100
100	645,9	653,3	660,6	668,0	675,4	682,8	690,2	697,6	705,1	712,5	720,0	110
110	720,0	727,5	735,0	742,5	750,0	757,6	765,1	772,7	780,3	787,9	795,5	120
120	795,5	803,1	810,7	818,4	826,0	833,7	841,4	849,1	856,8	864,5	872,2	130
130	872,2	880,0	887,7	895,5	903,3	911,1	918,9	926,7	934,6	942,4	950,2	140
140	950,2	958,1	966,0	973,9	981,8	989,7	997,6	1.005,5	1.013,5	1.021,4	1.029,4	150
150	1.029,4	1.037,4	1.045,4	1.053,4	1.061,4	1.069,4	1.077,5	1.085,5	1.093,6	1.101,6	1.109,7	160
160	1.109,7	1.117,8	1.125,9	1.134,0	1.142,1	1.150,2	1.158,4	1.166,5	1.174,7	1.182,8	1.191,0	170
170	1.191,0	1.199,2	1.207,4	1.215,6	1.223,8	1.232,1	1.240,3	1.248,5	1.256,8	1.265,1	1.273,3	180
180	1.273,3	1.281,6	1.289,9	1.298,2	1.306,5	1.314,9	1.323,2	1.331,5	1.339,9	1.348,2	1.356,6	190
190	1.356,6	1.365,0	1.373,4	1.381,8	1.390,2	1.398,6	1.407,0	1.415,4	1.423,9	1.432,3	1.440,8	200
200	1.440,8	1.449,2	1.457,7	1.466,2	1.474,7	1.483,2	1.491,7	1.500,2	1.508,7	1.517,3	1.525,8	210
210	1.525,8	1.534,3	1.542,9	1.551,5	1.560,0	1.568,6	1.577,2	1.585,8	1.594,4	1.603,0	1.611,6	220
220	1.611,6	1.620,3	1.628,9	1.637,5	1.646,2	1.654,8	1.663,5	1.672,2	1.680,8	1.689,5	1.698,2	230
230	1.698,2	1.706,9	1.715,6	1.724,3	1.733,1	1.741,8	1.750,5	1.759,3	1.768,0	1.776,8	1.785,5	240
240	1.785,5	1.794,3	1.803,1	1.811,9	1.820,7	1.829,5	1.838,3	1.847,1	1.855,9	1.864,7	1.873,6	250
250	1.873,6	1.882,4	1.891,3	1.900,1	1.909,0	1.917,8	1.926,7	1.935,6	1.944,5	1.953,4	1.962,3	260
260	1.962,3	1.971,2	1.980,1	1.989,0	1.997,9	2.006,8	2.015,8	2.024,7	2.033,7	2.042,6	2.051,6	270
270	2.051,6	2.060,5	2.069,5	2.078,5	2.087,5	2.096,5	2.105,5	2.114,5	2.123,5	2.132,5	2.141,5	280
280	2.141,5	2.150,5	2.159,6	2.168,6	2.177,6	2.186,7	2.195,7	2.204,8	2.213,8	2.222,9	2.232,0	290
290	2.232,0	2.241,1	2.250,2	2.259,3	2.268,3	2.277,5	2.286,6	2.295,7	2.304,8	2.313,9	2.323,0	300
300	2.323,0	2.332,2	2.341,3	2.350,5	2.359,6	2.368,8	2.377,9	2.387,1	2.396,3	2.405,4	2.414,6	310
310	2.414,6	2.423,8	2.433,0	2.442,2	2.451,4	2.460,6	2.469,8	2.479,0	2.488,2	2.497,5	2.506,7	320
320	2.506,7	2.515,9	2.525,2	2.534,4	2.543,7	2.552,9	2.562,2	2.571,4	2.580,7	2.590,0	2.599,3	330
330	2.599,3	2.608,5	2.617,8	2.627,1	2.636,4	2.645,7	2.655,0	2.664,3	2.673,7	2.683,0	2.692,3	340
340	2.692,3	2.701,6	2.711,0	2.720,3	2.729,6	2.739,0	2.748,3	2.757,7	2.767,0	2.776,4	2.785,8	350
350	2.785,8	2.795,1	2.804,5	2.813,9	2.823,3	2.832,7	2.842,1	2.851,5	2.860,9	2.870,3	2.879,7	360
360	2.879,7	2.889,1	2.898,5	2.907,9	2.917,4	2.926,8	2.936,2	2.945,7	2.955,1	2.964,6	2.974,0	370
370	2.974,0	2.983,5	2.992,9	3.002,4	3.011,9	3.021,3	3.030,8	3.040,3	3.049,8	3.059,2	3.068,7	380
380	3.068,7	3.078,2	3.087,7	3.097,2	3.106,7	3.116,3	3.125,8	3.135,3	3.144,8	3.154,3	3.163,9	390
390	3.163,9	3.173,4	3.182,9	3.192,5	3.202,0	3.211,6	3.221,1	3.230,7	3.240,2	3.249,8	3.259,4	400
400	3.259,4	3.268,9	3.278,5	3.288,1	3.297,7	3.307,2	3.316,8	3.326,4	3.336,0	3.345,6	3.355,2	410
410	3.355,2	3.364,8	3.374,4	3.384,1	3.393,7	3.403,3	3.412,9	3.422,5	3.432,2	3.441,8	3.451,4	420
420	3.451,4	3.461,1	3.470,7	3.480,4	3.490,0	3.499,7	3.509,4	3.519,0	3.528,7	3.538,3	3.548,0	430
430	3.548,0	3.557,7	3.567,4	3.577,1	3.586,7	3.596,4	3.606,1	3.615,8	3.625,5	3.635,2	3.644,9	440
440	3.644,9	3.654,6	3.664,4	3.674,1	3.683,8	3.693,5	3.703,3	3.713,0	3.722,7	3.732,5	3.742,2	450
450	3.742,2	3.751,9	3.761,7	3.771,4	3.781,2	3.790,9	3.800,7	3.810,5	3.820,2	3.830,0	3.839,8	460
460	3.839,8	3.849,5	3.859,3	3.869,1	3.878,9	3.888,7	3.898,5	3.908,3	3.918,1	3.927,9	3.937,7	470
470	3.937,7	3.947,5	3.957,3	3.967,1	3.976,9	3.986,7	3.996,6	4.006,4	4.016,2	4.026,1	4.035,9	480
480	4.035,9	4.045,7	4.055,6	4.065,4	4.075,3	4.085,1	4.095,0	4.104,8	4.114,7	4.124,6	4.134,4	490
490	4.134,4	4.144,3	4.154,2	4.164,1	4.173,9	4.183,8	4.193,7	4.203,6	4.213,5	4.223,4	4.233,3	500
500	4.233,3	4.243,2	4.253,1	4.263,0	4.272,9	4.282,8	4.292,8	4.302,7	4.312,6	4.322,5	4.332,5	510
510	4.332,5	4.342,4	4.352,3	4.362,3	4.372,2	4.382,2	4.392,1	4.402,1	4.412,0	4.422,0	4.431,9	520
520	4.431,9	4.441,9	4.451,9	4.461,8	4.471,8	4.481,8	4.491,8	4.501,7	4.511,7	4.521,7	4.531,7	530
530	4.531,7	4.541,7	4.551,7	4.561,7	4.571,7	4.581,7	4.591,7	4.601,7	4.611,7	4.621,8	4.631,8	540
540	4.631,8	4.641,8	4.651,8	4.661,9	4.671,9	4.681,9	4.692,0	4.702,0	4.712,1	4.722,1	4.732,2	550
550	4.732,2	4.742,2	4.752,3	4.762,3	4.772,4	4.782,5	4.792,6	4.802,6	4.812,7	4.822,8	4.832,9	560
560	4.832,9	4.842,9	4.853,0	4.863,1	4.873,2	4.883,3	4.893,4	4.903,5	4.913,6	4.923,7	4.933,9	570
570	4.933,9	4.944,0	4.954,1	4.964,2	4.974,3	4.984,5	4.994,6	5.004,7	5.014,9	5.025,0	5.035,2	580
580	5.035,2	5.045,3	5.055,5	5.065,6	5.075,8	5.085,9	5.096,1	5.106,3	5.116,4	5.126,6	5.136,8	590
590	5.136,8	5.147,0	5.157,1	5.167,3	5.177,5	5.187,7	5.197,9	5.208,1	5.218,3	5.228,5	5.238,7	600
600	5.238,7	5.248,9	5.259,1	5.269,3	5.279,5	5.289,8	5.300,0	5.310,2	5.320,4	5.330,7	5.340,9	610
610	5.340,9	5.351,2	5.361,4	5.371,6	5.381,9	5.392,1	5.402,4	5.412,7	5.422,9	5.433,2	5.443,5	620
620	5.443,5	5.453,7	5.464,0	5.474,3	5.484,6	5.494,8	5.505,1	5.515,4	5.525,7	5.536,0	5.546,3	630
630	5.546,3	5.556,6	5.566,9	5.577,2	5.587,5	5.597,9	5.608,2	5.618,5	5.628,8	5.639,1	5.649,5	640
640	5.649,5	5.659,8	5.670,1	5.680,5	5.690,8	5.701,2	5.711,5	5.721,9	5.732,2	5.742,6	5.753,0	650
650	5.753,0	5.763,3	5.773,7	5.784,1	5.794,4	5.804,8	5.815,2	5.825,6	5.836,0	5.846,4	5.856,8	660
660	5.856,8	5.867,2	5.877,6	5.888,0	5.898,4	5.908,8	5.919,2	5.929,6	5.940,0	5.950,5	5.960,9	670
670	5.960,9	5.971,3	5.981,8	5.992,2	6.002,6	6.013,1	6.023,5	6.034,0	6.044,4	6.054,9	6.065,4	680
680	6.065,4	6.075,8	6.086,3	6.096,8	6.107,2	6.117,7	6.128,2	6.138,7	6.149,2	6.159,6	6.170,1	690
690	6.170,1	6.180,6	6.191,1	6.201,6	6.212,1	6.222,6	6.233,2	6.243,7	6.254,2	6.264,7	6.275,2	700



Valores da força eletromotriz ( $\mu\text{V}$ ), em função da temperatura.Junção de referência a  $0^\circ\text{C}$ 

$^\circ\text{C}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$^\circ\text{C}$
1450	14.978,3	14.990,4	15.002,5	15.014,6	15.026,7	15.038,7	15.050,8	15.062,9	15.075,0	15.087,1	15.099,2	1460
1460	15.099,2	15.111,3	15.123,3	15.135,4	15.147,5	15.159,6	15.171,7	15.183,7	15.195,8	15.207,9	15.220,0	1470
1470	15.220,0	15.232,1	15.244,1	15.256,2	15.268,3	15.280,3	15.292,4	15.304,5	15.316,5	15.328,6	15.340,7	1480
1480	15.340,7	15.352,7	15.364,8	15.376,8	15.388,9	15.401,0	15.413,0	15.425,1	15.437,1	15.449,2	15.461,2	1490
1490	15.461,2	15.473,3	15.485,3	15.497,4	15.509,4	15.521,5	15.533,5	15.545,6	15.557,6	15.569,6	15.581,7	1500
1500	15.581,7	15.593,7	15.605,7	15.617,8	15.629,8	15.641,8	15.653,9	15.665,9	15.677,9	15.689,9	15.702,0	1510
1510	15.702,0	15.714,0	15.726,0	15.738,0	15.750,0	15.762,1	15.774,1	15.786,1	15.798,1	15.810,1	15.822,1	1520
1520	15.822,1	15.834,1	15.846,1	15.858,1	15.870,1	15.882,1	15.894,1	15.906,1	15.918,1	15.930,1	15.942,1	1530
1530	15.942,1	15.954,1	15.966,1	15.978,1	15.990,1	16.002,0	16.014,0	16.026,0	16.038,0	16.050,0	16.061,9	1540
1540	16.061,9	16.073,9	16.085,9	16.097,8	16.109,8	16.121,8	16.133,7	16.145,7	16.157,7	16.169,6	16.181,6	1550
1550	16.181,6	16.193,5	16.205,5	16.217,4	16.229,4	16.241,3	16.253,3	16.265,2	16.277,2	16.289,1	16.301,0	1560
1560	16.301,0	16.313,0	16.324,9	16.336,8	16.348,8	16.360,7	16.372,6	16.384,6	16.396,5	16.408,4	16.420,3	1570
1570	16.420,3	16.432,2	16.444,1	16.456,0	16.468,0	16.479,9	16.491,8	16.503,7	16.515,6	16.527,5	16.539,4	1580
1580	16.539,4	16.551,3	16.563,2	16.575,0	16.586,9	16.598,8	16.610,7	16.622,6	16.634,5	16.646,3	16.658,2	1590
1590	16.658,2	16.670,1	16.682,0	16.693,8	16.705,7	16.717,6	16.729,4	16.741,3	16.753,1	16.765,0	16.776,8	1600
1600	16.776,8	16.788,7	16.800,5	16.812,4	16.824,2	16.836,1	16.847,9	16.859,7	16.871,6	16.883,4	16.895,2	1610
1610	16.895,2	16.907,1	16.918,9	16.930,7	16.942,5	16.954,3	16.966,2	16.978,0	16.989,8	17.001,6	17.013,4	1620
1620	17.013,4	17.025,2	17.037,0	17.048,8	17.060,6	17.072,4	17.084,1	17.095,9	17.107,7	17.119,5	17.131,3	1630
1630	17.131,3	17.143,1	17.154,8	17.166,6	17.178,4	17.190,1	17.201,9	17.213,6	17.225,4	17.237,2	17.248,9	1640
1640	17.248,9	17.260,7	17.272,4	17.284,2	17.295,9	17.307,6	17.319,4	17.331,1	17.342,8	17.354,6	17.366,3	1650
1650	17.366,3	17.378,0	17.389,7	17.401,4	17.413,1	17.424,9	17.436,6	17.448,3	17.460,0	17.471,7	17.483,4	1660
1660	17.483,4	17.495,1	17.506,7	17.518,4	17.530,1	17.541,8	17.553,5	17.565,2	17.576,8	17.588,5	17.600,2	1670
1670	17.600,2	17.611,8	17.623,5	17.635,1	17.646,8	17.658,4	17.670,0	17.681,7	17.693,3	17.704,9	17.716,5	1680
1680	17.716,5	17.728,1	17.739,7	17.751,3	17.762,9	17.774,5	17.786,1	17.797,7	17.809,2	17.820,8	17.832,3	1690
1690	17.832,3	17.843,9	17.855,4	17.866,9	17.878,4	17.889,9	17.901,4	17.912,9	17.924,4	17.935,8	17.947,3	1700
1700	17.947,3	17.958,7	17.970,2	17.981,6	17.993,0	18.004,4	18.015,8	18.027,2	18.038,6	18.049,9	18.061,3	1710
1710	18.061,3	18.072,6	18.083,9	18.095,3	18.106,6	18.117,8	18.129,1	18.140,4	18.151,6	18.162,9	18.174,1	1720
1720	18.174,1	18.185,3	18.196,5	18.207,6	18.218,8	18.230,0	18.241,1	18.252,2	18.263,3	18.274,4	18.285,5	1730
1730	18.285,5	18.296,5	18.307,6	18.318,6	18.329,6	18.340,6	18.351,5	18.362,5	18.373,4	18.384,4	18.395,3	1740
1740	18.395,3	18.406,1	18.417,0	18.427,9	18.438,7	18.449,5	18.460,3	18.471,1	18.481,8	18.492,5	18.503,3	1750
1750	18.503,3	18.514,0	18.524,6	18.535,3	18.545,9	18.556,5	18.567,1	18.577,7	18.588,2	18.598,8	18.609,3	1760
1760	18.609,3	18.619,8	18.630,2	18.640,7	18.651,1	18.661,5	18.671,8	18.682,2	18.692,5			1770

Valores da força eletromotriz ( μV ), em função da temperatura.

Junção de referência a 0°C

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-260	-6.231,8	-6.235,6	-6.239,1	-6.242,4	-6.245,4	-6.248,2	-6.250,7	-6.252,9	-6.254,8	-6.256,3	-6.257,5	-270
-250	-6.180,4	-6.186,7	-6.192,6	-6.198,4	-6.203,9	-6.209,1	-6.214,1	-6.218,9	-6.223,4	-6.227,7	-6.231,8	-260
-240	-6.105,0	-6.113,6	-6.122,0	-6.130,1	-6.138,0	-6.145,7	-6.153,1	-6.160,3	-6.167,3	-6.174,0	-6.180,4	-250
-230	-6.006,7	-6.017,5	-6.028,0	-6.038,4	-6.048,6	-6.058,5	-6.068,3	-6.077,8	-6.087,1	-6.096,1	-6.105,0	-240
-220	-5.888,5	-5.901,1	-5.913,6	-5.925,8	-5.938,0	-5.949,9	-5.961,6	-5.973,2	-5.984,5	-5.995,7	-6.006,7	-230
-210	-5.753,2	-5.767,5	-5.781,5	-5.795,5	-5.809,2	-5.822,8	-5.836,3	-5.849,6	-5.862,7	-5.875,7	-5.888,5	-220
-200	-5.603,0	-5.618,6	-5.634,2	-5.649,5	-5.664,8	-5.679,9	-5.694,9	-5.709,7	-5.724,3	-5.738,9	-5.753,2	-210
-190	-5.438,6	-5.455,7	-5.472,6	-5.489,4	-5.506,0	-5.522,5	-5.538,9	-5.555,1	-5.571,2	-5.587,2	-5.603,0	-200
-180	-5.260,8	-5.279,1	-5.297,4	-5.315,5	-5.333,5	-5.351,4	-5.369,1	-5.386,7	-5.404,1	-5.421,5	-5.438,6	-190
-170	-5.069,9	-5.089,3	-5.108,9	-5.128,3	-5.147,6	-5.166,8	-5.185,9	-5.204,8	-5.223,6	-5.242,2	-5.260,8	-180
-160	-4.865,4	-4.886,4	-4.907,3	-4.928,0	-4.948,6	-4.969,1	-4.989,5	-5.009,7	-5.029,8	-5.049,7	-5.069,6	-170
-150	-4.648,5	-4.670,7	-4.692,9	-4.714,9	-4.736,8	-4.758,5	-4.780,1	-4.801,6	-4.823,0	-4.844,3	-4.865,4	-160
-140	-4.419,0	-4.442,5	-4.465,9	-4.489,1	-4.512,3	-4.535,3	-4.558,2	-4.580,9	-4.603,6	-4.626,1	-4.648,5	-150
-130	-4.177,1	-4.201,9	-4.226,5	-4.251,0	-4.275,3	-4.299,6	-4.323,7	-4.347,7	-4.371,6	-4.395,4	-4.419,0	-140
-120	-3.923,0	-3.948,9	-3.974,8	-4.000,5	-4.026,1	-4.051,6	-4.076,9	-4.102,1	-4.127,3	-4.152,2	-4.177,1	-130
-110	-3.656,7	-3.683,9	-3.710,9	-3.737,8	-3.764,6	-3.791,3	-3.817,9	-3.844,3	-3.870,7	-3.896,9	-3.923,0	-120
-100	-3.378,6	-3.406,9	-3.435,1	-3.463,2	-3.491,2	-3.519,1	-3.546,9	-3.574,5	-3.602,0	-3.629,4	-3.656,7	-110
-90	-3.088,9	-3.118,4	-3.147,7	-3.177,0	-3.206,1	-3.235,2	-3.264,1	-3.292,9	-3.321,6	-3.350,1	-3.378,6	-100
-80	-2.787,9	-2.818,5	-2.849,0	-2.879,4	-2.909,6	-2.939,8	-2.969,8	-2.999,8	-3.029,6	-3.059,3	-3.088,9	-90
-70	-2.475,8	-2.507,5	-2.539,1	-2.570,6	-2.601,9	-2.633,2	-2.664,4	-2.695,4	-2.726,3	-2.757,2	-2.787,9	-80
-60	-2.152,7	-2.185,5	-2.218,2	-2.250,8	-2.283,2	-2.315,6	-2.347,8	-2.380,0	-2.412,0	-2.443,9	-2.475,8	-70
-50	-1.819,0	-1.852,9	-1.886,6	-1.920,2	-1.953,8	-1.987,2	-2.020,5	-2.053,7	-2.086,8	-2.119,8	-2.152,7	-60
-40	-1.475,0	-1.509,9	-1.544,6	-1.579,3	-1.613,8	-1.648,3	-1.682,6	-1.716,9	-1.751,0	-1.785,1	-1.819,0	-50
-30	-1.120,9	-1.156,7	-1.192,5	-1.228,2	-1.263,7	-1.299,2	-1.334,5	-1.369,8	-1.405,0	-1.440,0	-1.475,0	-40
-20	-756,8	-793,7	-830,4	-867,1	-903,6	-940,1	-976,4	-1.012,7	-1.048,9	-1.084,9	-1.120,9	-30
-10	-383,1	-420,9	-458,6	-496,2	-533,7	-571,1	-608,5	-645,7	-682,9	-719,9	-756,8	-20
0	0,0	-38,7	-77,3	-115,8	-154,3	-192,6	-230,9	-269,1	-307,2	-345,2	-383,1	-10

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	0,0	38,8	77,6	116,5	155,5	194,6	233,7	272,9	312,2	351,6	391,0	10
10	391,0	430,5	470,1	509,7	549,5	589,3	629,2	669,2	709,2	749,4	789,6	20
20	789,6	829,9	870,3	910,8	951,3	992,0	1.032,7	1.073,5	1.114,4	1.155,4	1.196,4	30
30	1.196,4	1.237,6	1.278,8	1.320,1	1.361,6	1.403,0	1.444,6	1.486,3	1.528,0	1.569,9	1.611,8	40
40	1.611,8	1.653,8	1.695,9	1.738,1	1.780,3	1.822,7	1.865,1	1.907,6	1.950,3	1.992,9	2.035,7	50
50	2.035,7	2.078,6	2.121,5	2.164,6	2.207,7	2.250,9	2.294,2	2.337,5	2.381,0	2.424,5	2.468,2	60
60	2.468,2	2.511,9	2.555,6	2.599,5	2.643,5	2.687,5	2.731,6	2.775,8	2.820,1	2.864,5	2.908,9	70
70	2.908,9	2.953,4	2.998,0	3.042,7	3.087,5	3.132,3	3.177,2	3.222,2	3.267,3	3.312,5	3.357,7	80
80	3.357,7	3.403,0	3.448,4	3.493,9	3.539,4	3.585,1	3.630,8	3.676,6	3.722,4	3.768,3	3.814,3	90
90	3.814,3	3.860,4	3.906,6	3.952,8	3.999,1	4.045,5	4.092,0	4.138,5	4.185,1	4.231,8	4.278,5	100
100	4.278,5	4.325,3	4.372,2	4.419,2	4.466,2	4.513,3	4.560,5	4.607,8	4.655,1	4.702,5	4.750,0	110
110	4.750,0	4.797,5	4.845,1	4.892,8	4.940,5	4.988,3	5.036,2	5.084,2	5.132,2	5.180,3	5.228,4	120
120	5.228,4	5.276,7	5.325,0	5.373,3	5.421,8	5.470,3	5.518,8	5.567,5	5.616,2	5.664,9	5.713,8	130
130	5.713,8	5.762,7	5.811,6	5.860,6	5.909,7	5.958,9	6.008,1	6.057,4	6.106,8	6.156,2	6.205,7	140
140	6.205,7	6.255,2	6.304,9	6.354,5	6.404,3	6.454,1	6.504,0	6.553,9	6.603,9	6.654,0	6.704,1	150
150	6.704,1	6.754,3	6.804,5	6.854,8	6.905,2	6.955,7	7.006,2	7.056,7	7.107,4	7.158,0	7.208,8	160
160	7.208,8	7.259,6	7.310,5	7.361,4	7.412,4	7.463,5	7.514,6	7.565,8	7.617,0	7.668,3	7.719,7	170
170	7.719,7	7.771,1	7.822,6	7.874,1	7.925,7	7.977,4	8.029,1	8.080,9	8.132,7	8.184,6	8.236,6	180
180	8.236,6	8.288,6	8.340,7	8.392,8	8.445,0	8.497,3	8.549,6	8.602,0	8.654,4	8.706,9	8.759,5	190
190	8.759,5	8.812,1	8.864,7	8.917,4	8.970,2	9.023,1	9.076,0	9.128,9	9.181,9	9.235,0	9.288,1	200
200	9.288,1	9.341,3	9.394,5	9.447,8	9.501,2	9.554,6	9.608,0	9.661,5	9.715,1	9.768,7	9.822,4	210
210	9.822,4	9.876,1	9.929,9	9.983,8	10.037,7	10.091,6	10.145,7	10.199,7	10.253,8	10.308,0	10.362,2	220
220	10.362,2	10.416,5	10.470,9	10.525,2	10.579,7	10.634,2	10.688,7	10.743,3	10.798,0	10.852,7	10.907,5	230
230	10.907,5	10.962,3	11.017,1	11.072,0	11.127,0	11.182,0	11.237,1	11.292,2	11.347,4	11.402,2	11.457,9	240
240	11.457,9	11.513,2	11.568,6	11.624,0	11.679,5	11.735,0	11.790,6	11.846,2	11.901,9	11.957,6	12.013,4	250
250	12.013,4	12.069,2	12.125,1	12.181,0	12.237,0	12.293,0	12.349,1	12.405,2	12.461,4	12.517,6	12.573,8	260
260	12.573,8	12.630,2	12.686,5	12.742,9	12.799,4	12.855,9	12.912,4	12.969,0	13.025,6	13.082,3	13.139,1	270
270	13.139,1	13.195,8	13.252,7	13.309,5	13.366,4	13.423,4	13.480,4	13.537,5	13.594,6	13.651,7	13.708,9	280
280	13.708,9	13.766,1	13.823,4	13.880,7	13.938,1	13.995,5	14.052,9	14.110,4	14.168,0	14.225,6	14.283,2	290
290	14.283,2	14.340,9	14.398,6	14.456,4	14.514,2	14.572,0	14.629,9	14.687,9	14.745,8	14.803,9	14.861,9	300
300	14.861,9	14.920,0	14.978,2	15.036,4	15.094,6	15.152,9	15.211,2	15.269,6	15.328,0	15.386,4	15.444,9	310
310	15.444,9	15.503,5	15.562,0	15.620,7	15.679,3	15.738,0	15.796,8	15.855,6	15.914,4	15.973,3	16.032,2	320
320	16.032,2	16.091,1	16.150,1	16.209,2	16.268,2	16.327,4	16.386,5	16.445,7	16.505,0	16.564,2	16.623,6	330
330	16.623,6	16.682,9	16.742,3	16.801,8	16.861,3	16.920,8	16.980,4	17.040,0	17.099,7	17.159,4	17.219,1	340
340	17.219,1	17.278,9	17.338,7	17.398,5	17.458,4	17.518,4	17.578,4	17.638,4	17.698,4	17.758,5	17.818,7	350
350	17.818,7	17.878,8	17.939,1	17.999,3	18.059,6	18.120,0	18.180,3	18.240,8	18.301,2	18.361,7	18.422,2	360
360	18.422,2	18.482,8	18.543,4	18.604,1	18.664,8	18.725,5	18.786,2	18.847,0	18.907,9	18.968,7	19.029,7	370
370	19.029,7	19.090,6	19.151,6	19.212,6	19.273,7	19.334,7	19.395,9	19.457,0	19.518,2	19.579,4	19.640,7	380
380	19.640,7	19.702,0	19.763,3	19.824,7	19.886,1	19.947,5	20.008,9	20.070,4	20.131,9	20.193,4	20.255,0	390
390	20.255,0	20.316,6	20.378,2	20.439,8	20.501,5	20.563,2	20.624,9	20.686,6	20.748,4	20.810,2	20.872,0	400
400	20.872,0											

# **TABELAS DAS TERMORESISTÊNCIAS (RTD)**

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-190	1,471	1,430	1,389	1,348	1,306	1,265	1,223	1,182	1,140	1,099		-200
-180	1,884	1,843	1,802	1,761	1,719	1,678	1,637	1,596	1,554	1,513	1,471	-190
-170	2,295	2,254	2,213	2,172	2,131	2,090	2,049	2,008	1,967	1,925	1,884	-180
-160	2,705	2,664	2,623	2,582	2,541	2,500	2,459	2,418	2,377	2,336	2,295	-170
-150	3,112	3,072	3,031	2,990	2,949	2,909	2,868	2,827	2,786	2,745	2,705	-160
-140	3,519	3,478	3,437	3,397	3,356	3,316	3,275	3,234	3,194	3,153	3,112	-150
-130	3,923	3,883	3,842	3,802	3,762	3,721	3,681	3,640	3,600	3,559	3,519	-140
-120	4,326	4,286	4,246	4,206	4,165	4,125	4,085	4,044	4,004	3,964	3,923	-130
-110	4,728	4,688	4,648	4,608	4,567	4,527	4,487	4,447	4,407	4,366	4,326	-120
-100	5,128	5,088	5,048	5,008	4,968	4,928	4,888	4,848	4,808	4,768	4,728	-110
-90	5,526	5,486	5,446	5,407	5,367	5,327	5,287	5,247	5,208	5,168	5,128	-100
-80	5,923	5,883	5,844	5,804	5,764	5,725	5,685	5,645	5,606	5,566	5,526	-90
-70	6,318	6,279	6,239	6,200	6,160	6,121	6,081	6,042	6,002	5,962	5,923	-80
-60	6,712	6,672	6,633	6,594	6,554	6,515	6,476	6,436	6,397	6,358	6,318	-70
-50	7,104	7,064	7,025	6,986	6,947	6,908	6,869	6,830	6,790	6,751	6,712	-60
-40	7,490	7,451	7,413	7,374	7,335	7,296	7,258	7,220	7,181	7,142	7,104	-50
-30	7,876	7,838	7,799	7,761	7,722	7,683	7,645	7,606	7,568	7,529	7,490	-40
-20	8,263	8,224	8,185	8,147	8,108	8,070	8,031	7,992	7,954	7,915	7,876	-30
-10	8,649	8,610	8,572	8,533	8,494	8,456	8,417	8,378	8,340	8,301	8,263	-20
0	9,035	8,996	8,958	8,919	8,881	8,842	8,805	8,765	8,726	8,687	8,649	-10
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	9,035	9,074	9,112	9,151	9,189	9,228	9,267	9,305	9,344	9,383	9,421	10
10	9,421	9,460	9,498	9,537	9,576	9,614	9,653	9,692	9,730	9,769	9,807	20
20	9,807	9,846	9,885	9,923	9,962	10,000	10,039	10,078	10,116	10,155	10,194	30
30	10,194	10,232	10,271	10,309	10,348	10,387	10,425	10,464	10,502	10,541	10,580	40
40	10,580	10,618	10,657	10,696	10,734	10,773	10,811	10,850	10,889	10,927	10,966	50
50	10,966	11,005	11,043	11,082	11,120	11,159	11,198	11,236	11,275	11,313	11,352	60
60	11,352	11,391	11,429	11,468	11,507	11,545	11,584	11,622	11,661	11,700	11,738	70
70	11,738	11,777	11,816	11,854	11,893	11,931	11,970	12,009	12,047	12,086	12,124	80
80	12,124	12,163	12,202	12,240	12,279	12,318	12,356	12,395	12,433	12,472	12,511	90
90	12,511	12,549	12,588	12,627	12,665	12,704	12,742	12,781	12,820	12,858	12,897	100
100	12,897	12,935	12,974	13,013	13,051	13,090	13,129	13,167	13,206	13,244	13,283	110
110	13,283	13,322	13,360	13,399	13,437	13,476	13,515	13,553	13,592	13,631	13,669	120
120	13,669	13,708	13,746	13,785	13,824	13,862	13,901	13,940	13,978	14,017	14,055	130
130	14,055	14,094	14,133	14,171	14,210	14,248	14,287	14,326	14,364	14,403	14,442	140
140	14,442	14,480	14,519	14,557	14,596	14,635	14,673	14,712	14,751	14,789	14,828	150
150	14,828	14,867	14,906	14,945	14,984	15,022	15,061	15,100	15,139	15,178	15,217	160
160	15,217	15,256	15,295	15,334	15,373	15,412	15,451	15,490	15,529	15,568	15,607	170
170	15,607	15,646	15,685	15,724	15,763	15,802	15,840	15,879	15,918	15,957	15,996	180
180	15,996	16,035	16,074	16,113	16,152	16,191	16,230	16,269	16,308	16,347	16,386	190
190	16,386	16,425	16,464	16,503	16,542	16,581	16,620	16,659	16,698	16,737	16,776	200
200	16,776	16,815	16,854	16,893	16,932	16,971	17,010	17,049	17,088	17,127	17,166	210
210	17,166	17,205	17,244	17,283	17,321	17,360	17,399	17,438	17,477	17,516	17,555	220
220	17,555	17,594	17,633	17,672	17,711	17,750	17,789	17,828	17,867	17,906	17,945	230
230	17,945	17,984	18,023	18,062	18,101	18,140	18,179	18,218	18,257	18,296	18,335	240
240	18,335	18,374	18,413	18,452	18,491	18,530	18,569	18,608	18,648	18,687	18,726	250
250	18,726	18,765	18,804	18,843	18,882	18,921	18,960	18,999	19,038	19,077	19,116	260
260	19,116											

# termoresistência PT-100 Ohms a 0 °C

IEC 751

ITS-90

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	°C
-190	22,83	22,40	21,97	21,54	21,11	20,68	20,25	19,82	19,38	18,95	18,52	-200
-180	27,10	26,67	26,24	25,82	25,39	24,97	24,54	24,11	23,68	23,25	22,83	-190
-170	31,34	30,91	30,49	30,07	29,64	29,22	28,80	28,37	27,95	27,52	27,10	-180
-160	35,54	35,12	34,70	34,28	33,86	33,44	33,02	32,60	31,18	31,76	31,34	-170
-150	39,72	39,31	38,89	38,47	38,05	37,64	37,22	36,80	36,38	35,96	35,54	-160
-140	43,88	43,46	43,05	42,63	42,22	41,80	41,80	40,97	40,56	40,14	39,72	-150
-130	48,00	47,59	47,18	46,77	46,36	45,94	45,53	45,12	44,70	44,29	43,88	-140
-120	52,11	51,70	51,29	50,88	50,47	50,06	49,65	49,24	48,83	48,42	48,00	-130
-110	56,19	55,79	55,38	54,97	54,56	54,15	53,75	53,34	52,93	52,52	52,11	-120
-100	60,26	59,85	59,44	59,04	58,63	58,23	57,82	57,41	57,01	56,60	56,19	-110
-90	64,30	63,90	63,49	63,09	62,68	62,28	61,88	61,47	61,07	60,66	60,26	-100
-80	68,33	67,92	67,52	67,12	66,72	66,31	65,91	65,51	65,11	64,70	64,30	-90
-70	73,33	71,93	71,53	71,13	70,73	70,33	69,93	69,53	69,13	68,73	68,33	-80
-60	76,33	75,93	75,53	75,13	74,73	74,33	73,93	73,53	73,13	72,73	72,33	-70
-50	80,31	79,91	79,51	79,11	78,72	78,32	77,92	77,52	77,12	76,73	76,33	-60
-40	84,27	83,87	83,48	83,08	82,69	82,29	81,89	81,50	81,10	80,70	80,31	-50
-30	88,22	87,83	87,43	87,04	86,64	86,25	85,85	85,46	85,06	84,67	84,27	-40
-20	92,16	91,77	91,37	90,98	90,59	90,19	89,80	89,40	89,01	88,62	88,22	-30
-10	96,09	95,69	95,30	94,91	94,52	94,12	93,73	93,34	92,95	92,55	92,16	-20
0	100,00	99,61	99,22	98,83	98,44	98,04	97,65	97,26	96,87	96,48	96,09	-10

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
0	100,00	100,39	100,78	101,17	101,56	101,95	102,34	102,73	103,12	103,51	103,90	10
10	103,90	104,29	104,68	105,07	105,46	105,85	106,24	106,63	107,02	107,40	107,79	20
20	107,79	108,18	108,57	108,96	109,35	109,73	110,12	110,51	110,90	111,29	111,67	30
30	111,67	112,06	112,45	112,83	113,22	113,61	114,00	114,38	114,77	115,15	115,54	40
40	115,54	115,93	116,31	116,70	117,08	117,47	117,86	118,24	118,63	119,01	119,40	50
50	119,40	119,78	120,17	120,55	120,94	121,32	121,71	122,09	122,47	122,86	123,24	60
60	123,24	123,63	124,01	124,39	124,78	125,16	125,54	125,93	126,31	126,69	127,08	70
70	127,08	127,46	127,84	128,22	128,61	128,99	129,37	129,75	130,13	130,52	130,90	80
80	130,90	131,28	131,66	132,04	132,42	132,80	133,18	133,57	133,95	134,33	134,71	90
90	134,71	135,09	135,47	135,85	136,23	136,61	136,99	137,37	137,75	138,13	138,51	100
100	138,51	138,88	139,26	139,64	140,02	140,40	140,78	141,16	141,54	141,91	142,29	110
110	142,29	142,67	143,05	143,43	143,80	144,18	144,56	144,94	145,31	145,69	146,07	120
120	146,07	146,44	146,82	147,20	147,57	147,95	148,33	148,70	149,08	149,46	149,83	130
130	149,83	150,21	150,58	150,96	151,33	151,71	152,08	152,46	152,83	153,21	153,58	140
140	153,58	153,96	154,33	154,71	155,08	155,46	155,83	156,20	156,58	156,95	157,33	150
150	157,33	157,70	158,07	158,45	158,82	159,19	159,56	159,94	160,31	160,68	161,05	160
160	161,05	161,43	161,80	162,17	162,54	162,91	163,29	163,66	164,03	164,40	164,77	170
170	164,77	165,14	165,51	165,89	166,26	166,63	167,00	167,37	167,74	168,11	168,48	180
180	168,48	168,85	169,22	169,59	169,96	170,33	170,70	171,07	171,43	171,80	172,17	190
190	172,17	172,54	172,91	173,28	173,65	174,02	174,38	174,75	175,12	175,49	175,86	200
200	175,86	176,22	176,59	176,96	177,33	177,69	178,06	178,43	178,79	179,16	179,53	210
210	179,53	179,89	180,26	180,63	180,99	181,36	181,72	182,09	182,46	182,82	183,19	220
220	183,19	183,55	183,92	184,28	184,65	185,01	185,38	185,74	186,11	186,47	186,84	230
230	186,84	187,20	187,56	187,93	188,29	188,66	189,02	189,38	189,75	190,11	190,47	240
240	190,47	190,84	191,20	191,56	191,92	192,29	192,65	193,01	193,37	193,74	194,10	250
250	194,10	194,46	194,82	195,18	195,55	195,91	196,27	196,63	196,99	197,35	197,71	260
260	197,71	198,07	198,43	198,79	199,15	199,51	199,87	200,23	200,59	200,95	201,31	270
270	201,31	201,67	202,03	202,39	202,75	203,11	203,47	203,83	204,19	204,55	204,90	280
280	204,90	205,26	205,62	205,98	206,34	206,70	207,05	207,41	207,77	208,13	208,48	290
290	208,48	208,84	209,20	209,56	209,91	210,27	210,63	210,98	211,34	211,70	212,05	300
300	212,05	212,41	212,76	213,12	213,48	213,83	214,19	214,54	214,90	215,25	215,61	310
310	215,61	215,96	216,32	216,67	217,03	217,38	217,74	218,09	218,44	218,80	219,15	320
320	219,15	219,51	219,86	220,21	220,57	220,92	221,27	221,63	221,98	222,33	222,68	330
330	222,68	223,04	223,39	223,74	224,09	224,45	224,80	225,15	225,50	225,85	226,21	340
340	226,21	226,56	226,91	227,26	227,61	227,96	228,31	228,66	229,02	229,37	229,72	350
350	229,72	230,07	230,42	230,77	231,12	231,47	231,82	232,17	232,52	232,87	233,21	360
360	233,21	233,56	233,91	234,26	234,61	234,96	235,31	235,66	236,00	236,35	236,70	370
370	236,70	237,05	237,40	237,74	238,09	238,44	238,79	239,13	239,48	239,83	240,18	380
380	240,18	240,52	240,87	241,22	241,56	241,91	242,26	242,60	242,95	243,29	243,64	390
390	243,64	243,99	244,33	244,68	245,02	245,37	245,71	246,06	246,40	246,75	247,09	400
400	247,09	247,44	247,78	248,13	248,47	248,81	249,16	249,50	249,85	250,19	250,53	410
410	250,53	250,88	251,22	251,56	251,91	252,25	252,59	252,93	253,28	253,62	253,96	420
420	253,96	254,30	254,65	254,99	255,33	255,67	256,01	256,35	256,70	257,04	257,38	430
430	257,38	257,72	258,06	258,40	258,74	259,08	259,42	259,76	260,10	260,44	260,78	440
440	260,78	261,12	261,46	261,80	262,14	262,48	262,82	263,16	263,50	263,84	264,18	450
450	264,18	264,52	264,86	265,20	265,53	265,87	266,21	266,55	266,89	267,22	267,56	460
460	267,56	267,90	268,24	268,57	268,91	269,25	269,59	269,92	270,26	270,60	270,93	470
470	270,93	271,27	271,61	271,94	272,28	272,61	272,95	273,29	273,62	273,96	274,29	480
480	274,29	274,63	274,96	275,30	275,63	275,97	276,30	276,64	276,97	277,31	277,64	490
490	277,64	277,98	278,31	278,64	278,98	279,31	279,64	279,98	280,31	280,64	280,98	500
500	280,98	281,31	281,64	281,98	282,31	282,64	282,97	283,31	283,64	283,97	284,30	510
510	284,30	284,63	284,97	285,30	285,63	285,96	286,29	286,62	286,95	287,29	287,62	520
520	287,62	287,95	288,28	288,61	288,94	289,27	289,60	289,93	290,26	290,59	290,92	530
530	290,92	291,25	291,58	291,91	292,24	292,56	292,89	293,22	293,55	293,88	294,21	540
540	294,21	294,54	294,86	295,19	295,52	295,85	296,18	296,50	296,83	297,16	297,49	550

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
550	297,49	297,81	298,14	298,47	298,80	299,12	299,45	299,78	300,10	300,43	300,75	560
560	300,75	301,08	301,41	301,73	302,06	302,38	302,71	303,03	303,36	303,69	304,01	570
570	304,01	304,34	304,66	304,98	305,31	305,63	305,96	306,28	306,61	306,93	307,25	580
580	307,25	307,58	307,90	308,23	308,55	308,87	309,20	309,52	309,84	310,16	310,49	590
590	310,49	310,81	311,13	311,45	311,78	312,10	312,42	312,74	313,06	313,39	313,71	600
600	313,71	314,03	314,35	314,67	314,99	315,31	315,64	315,96	316,28	316,60	316,92	610
610	316,92	317,24	317,56	317,88	318,20	318,52	318,84	319,16	319,48	319,80	320,12	620
620	320,12	320,43	320,75	321,07	321,39	321,71	322,03	322,35	322,67	322,98	323,30	630
630	323,30	323,62	323,94	324,26	324,57	324,89	325,21	325,53	325,84	326,16	326,48	640
640	326,48	326,79	327,11	327,43	327,74	328,06	328,38	328,69	329,01	329,32	329,64	650
650	329,64	329,96	330,27	330,59	330,90	331,22	331,53	331,85	332,16	332,48	332,79	660
660	332,79	333,11	333,42	333,74	334,05	334,36	334,68	334,99	335,31	335,62	335,93	670
670	335,93	336,25	336,56	336,87	337,18	337,50	337,81	338,12	338,44	338,75	339,06	680
680	339,06	339,37	339,69	340,00	340,31	340,62	340,93	341,24	341,56	341,87	342,18	690
690	342,18	342,49	342,80	343,11	343,42	343,73	344,04	344,35	344,66	344,97	345,28	700
700	345,28	345,59	345,90	346,21	346,52	346,83	347,14	347,45	347,76	348,07	348,38	710
710	348,38	348,69	348,99	349,30	349,61	349,92	350,23	350,54	350,84	351,15	351,46	720
720	351,46	351,77	352,08	352,38	352,69	353,00	353,30	353,61	353,92	354,22	354,53	730
730	354,53	354,84	355,14	355,45	355,76	356,06	356,37	356,67	356,98	357,28	357,59	740
740	357,59	357,90	358,20	358,51	358,81	359,12	359,42	359,72	360,03	360,33	360,64	750
750	360,64	360,94	361,25	361,55	361,85	362,16	362,46	362,76	363,07	363,37	363,67	760
760	363,67	363,98	364,28	364,58	364,89	365,19	365,49	365,79	366,10	366,40	366,70	770
770	366,70	367,00	367,30	367,60	367,91	368,21	368,51	368,81	369,11	369,41	369,71	780
780	369,71	370,01	370,31	370,61	370,91	371,21	371,51	371,81	372,11	372,41	372,71	790
790	372,71	373,01	373,31	373,61	373,91	374,21	374,51	374,81	375,11	375,41	375,70	800
800	375,70	376,00	376,30	376,60	376,90	377,19	377,49	377,79	378,09	378,39	378,68	810
810	378,68	378,98	379,28	379,57	379,87	380,17	380,46	380,76	381,06	381,35	381,65	820
820	381,65	381,95	382,24	382,54	382,83	383,13	383,42	383,72	384,01	384,31	384,60	830
830	384,60	384,90	385,19	385,49	385,78	386,08	386,37	386,67	386,96	387,25	387,55	840
840	387,55	387,84	388,14	388,43	388,72	389,02	389,31	389,60	389,90	390,19	390,48	850
850	390,48											860

smar

---

## REFERÊNCIAS

### [1] Livros diversos

- [1.1] Arivelto Bustamante Fialho, *Instrumentação Industrial*, Editora Érica, 2003.
- [1.2] Bega, Egídio Alberto. – *Instrumentação Industrial* – Editora Interciência
- [1.3] Stephen Michael Elonka, *Manual de Instrumentação*, McGraw Hill Editora Ltda
- [1.4] Béla G. Lipták, *Instrument Engineers Handbook*, Chilton Book Company, 1970.
- [1.5] Douglas M. Considine, *Process Industrial Instruments and Controls*- McGraw Hill Editora Ltda
- [1.6] Gérard J. Delmée, *Manual de Medição de Vazão*, Editora Edgard Blücher Ltda, 2003

### [2] Manuais / apostilas

- [2.1] SENAI-DR-PR, *Manuais de Treinamento da Unidade Móvel – parceria SMAR/SENAI-PR*
- [2.2] SENAI-DR-SP, *Manual de Instrumentação Básica do Curso Técnico Especial de Instrumentação*, Escola Senai “Antonio Souza Noschese” – Santos.
- [2.3] CST(Companhia Siderúrgica de Tubarão)/SENAI-DR-ES, *Manuais de programa de certificação do pessoal de Instrumentação*, 1999.  
[www.abraman.org.br/pnqc/instrumentistas.asp](http://www.abraman.org.br/pnqc/instrumentistas.asp)