



Automação Industrial

**Medição de Pressão**  
**Parte II/II**

**Prof<sup>o</sup> Eng<sup>o</sup> Hermom Leal, Msc.**

Versão 1 - Maio/2019



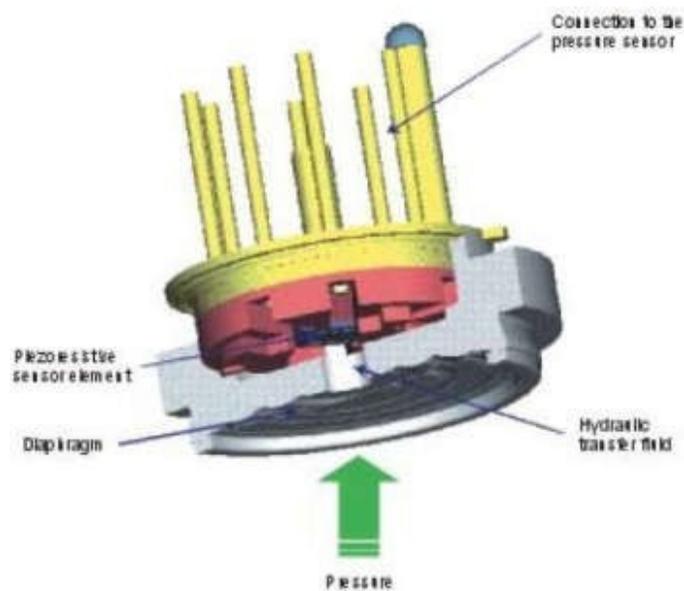
## **Sensores utilizados para Medição de Pressão**

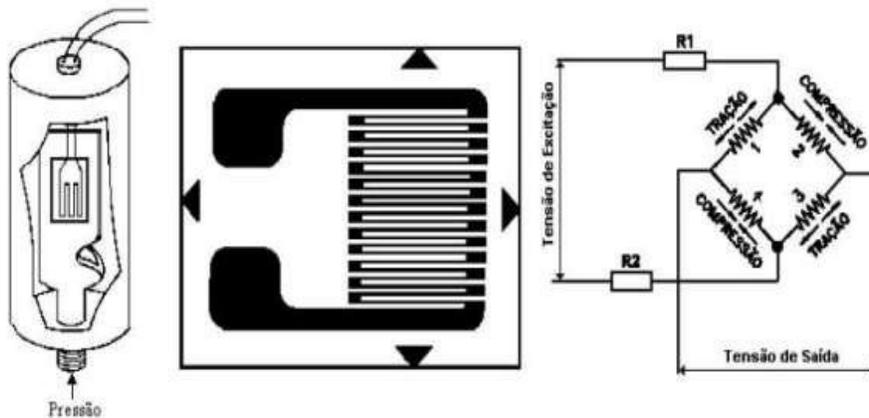
- ✓ Em geral os sensores são classificados conforme a técnica usada na conversão mecânica da pressão em um sinal eletrônico proporcional
- ✓ Todas as tecnologias tem um só propósito que é transformar a pressão aplicada em um sensor, em um sinal eletrônico proporcional a mesma
- ✓ Exemplos:
  - Piezo-resistivo (*Strain Gauge*)
  - Piezoelétrico
  - Capacitância Variável (Capacitivos)
  - Ótico
  - Outros

## Piezo-resistivo ou Strain Gauge



- ✓ A piezoresistividade refere-se à mudança da resistência elétrica com a deformação/contração como resultado da pressão aplicada
- ✓ Na sua grande maioria são formados por elementos cristalinos (*Strain Gauge*) interligados em ponte de *Wheatstone* com outros resistores que provém o ajuste do zero, da sensibilidade e compensação de temperatura
- ✓ O material de construção varia de fabricante para fabricante e hoje em dia é comum sensores de estado sólido



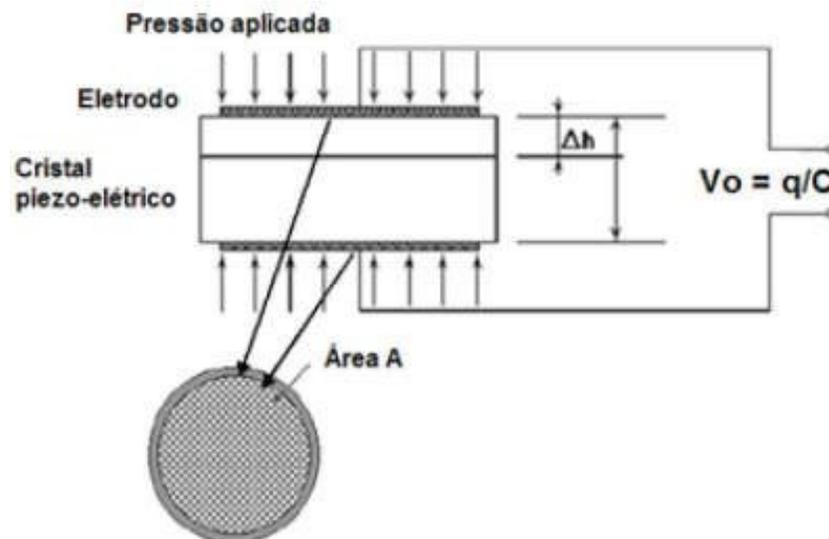


VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A grande vantagem é que já produz um sinal eletrônico num nível maior, porém a altas temperaturas são totalmente vulneráveis, pois a temperatura afeta o material adesivo utilizado ao colar o silício ao diafragma</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Faixa limitante de temperatura de operação</li> <li>✓ Aplicável em faixas baixas de pressão por gerarem um sinal muito baixo de excitação</li> <li>✓ Muito instável</li> </ul>

## Piezoelétrico



- ✓ Um sensor piezoelétrico, usa o efeito piezoelétrico (Pierre e Jacques Curie em 1880)
- ✓ O material piezoelétrico é um cristal que produz uma tensão diferencial proporcional a pressão (aceleração ou força) a ele aplicada em suas faces: quartzo, sal de Rochelle, titânio de bário, turmalina, etc.



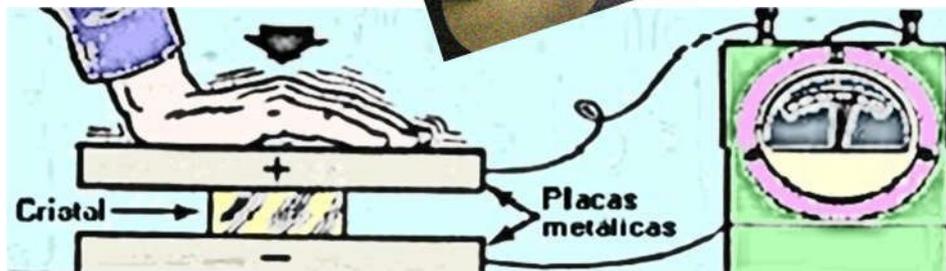
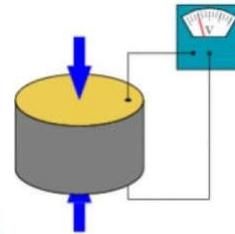
C: Capacidade do Cristal

$V_o$ : Tensão de Saída

# Piezoelétrico



- ✓ Este material acumula cargas elétricas em certas áreas de sua estrutura cristalina, quando sofrem uma deformação física, por ação de uma pressão



9

# Piezoelétrico

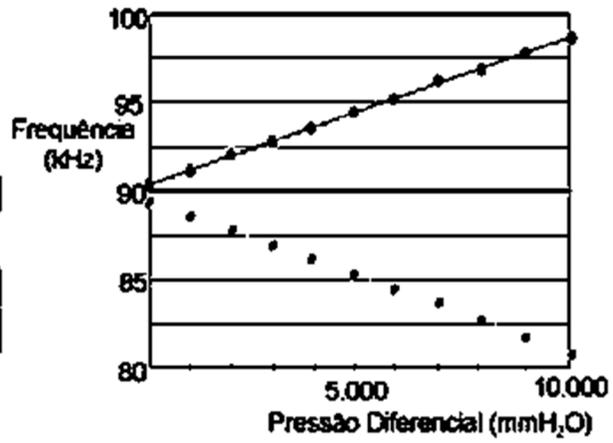
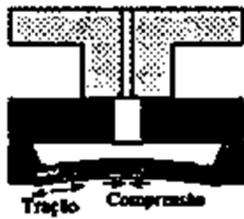
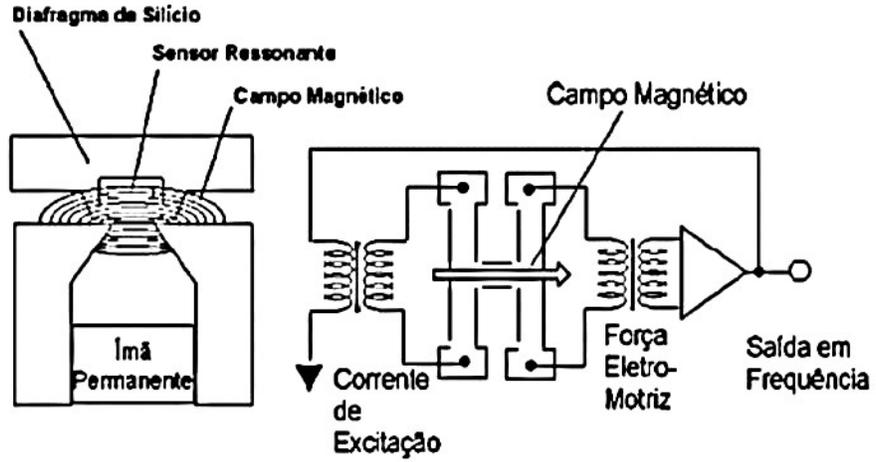


VANTAGENS	DESVANTAGENS
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Rápida resposta</li><li>✓ A relação entre a carga elétrica e a pressão aplicada ao cristal é praticamente linear</li></ul> $q = S_q \cdot A \cdot p$ <p><math>p</math>: Pressão aplicada <math>A</math>: Área do eletrodo <math>S_q</math>: Sensibilidade <math>q</math>: Carga elétrica</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Requer um circuito de alta impedância e um amplificador de alto ganho, sendo susceptível a ruídos</li><li>✓ Devido à natureza dinâmica, não permite a medição de pressão em estado sólido</li></ul>

# Ressonantes



- ✓ Possuem em geral o princípio da tecnologia que é conhecida como *vibrating wire*
  - ✓ Uma mola de fio magnético é anexada ao diafragma que ao ser submetido a um campo magnético e ser percorrido por uma corrente elétrica entra em oscilação
  - ✓ A frequência de oscilação é proporcional ao quadrado da tensão (expansão/compressão) do fio
- 
- ✓ No sensor Silício Ressonante, não se usa fio e sim o silício para ressonar com diferentes frequências que são funções da expansão/compressão
  - ✓ sensor é formado por uma cápsula de silício colocada em um diafragma que vibra ao se aplicar um diferencial de pressão, e a frequência de vibração depende da pressão aplicada
  - ✓ Alguns sensores ressonantes exigem técnicas de compensação em temperatura via hardware/software complicadas, aumentando o número de componentes, o que em alguns equipamentos exigem mais placas eletrônicas



# Capacitivos

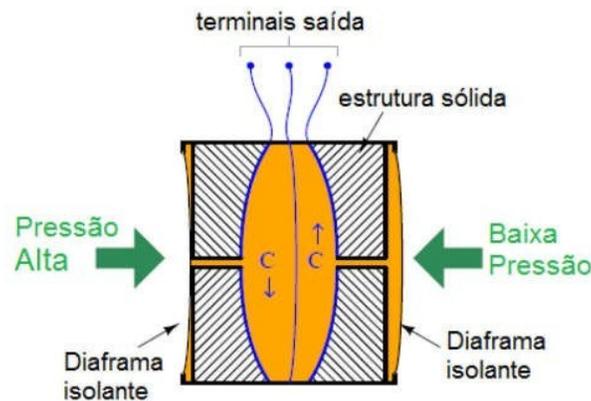


- ✓ A capacitância de um capacitor é uma medida de sua capacidade de armazenar carga
- ✓ A capacitância é diretamente proporcional à área das placas de metal e inversamente proporcional à distância entre eles

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$$

$C$  : Capacitância entre dois condutores [Farad - F]  
 $A$  : Área de sobreposição entre os condutores [m<sup>2</sup>]  
 $d$  : Distância que separa as placas [m]  
 $\varepsilon$  : Permissividade dielétrica do meio isolante [F/m]

- ✓ São baseados em transdutores onde a pressão aplicada no diafragma-sensor faz com que se tenha uma variação da capacitância entre os mesmos e um diafragma central, por exemplo
- ✓ A construção da célula de  $\Delta P$  consiste de capacitores dentro da cápsula celular, colocadas estrategicamente, de modo que as pressões diferenciais possam ser sentidas pelas mudanças na capacitância dos capacitores quando a pressão é variada através da célula



- ✓ Ideais para aplicações de baixa e alta pressão
- ✓ Minimizam o erro total provável e consequentemente à variabilidade do processo
- ✓ Ideais para aplicações de vazão
- ✓ Por sua resposta linear, permite alta *rangeabilidade* com exatidão



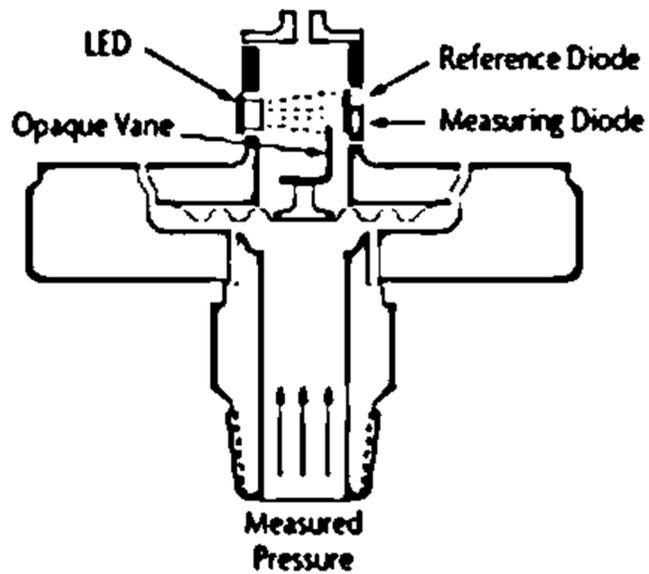
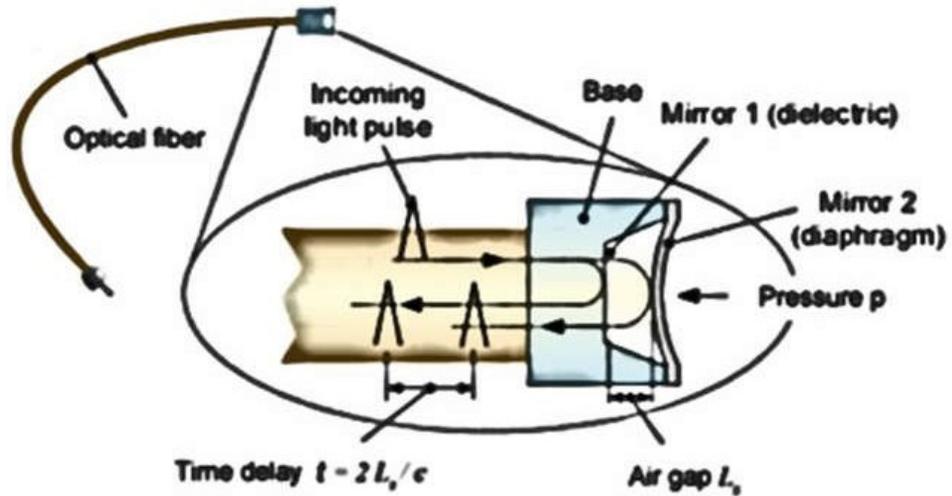
## Óticos

- ✓ Transdutores óticos detectam os efeitos dos movimentos devido a mudanças na pressão do processo e geram um sinal de saída correspondente
- ✓ Um diodo emissor de luz (LED) é utilizado como fonte de luz, através do diafragma, constituído por palhetas que permitem regular a intensidade da luz captadas por um diodo de medição e um diodo de referência
- ✓ À medida que a pressão do processo varia a palheta, entre a fonte e o diodo de medição, sofre as alterações da quantidade de luz infravermelha recebida

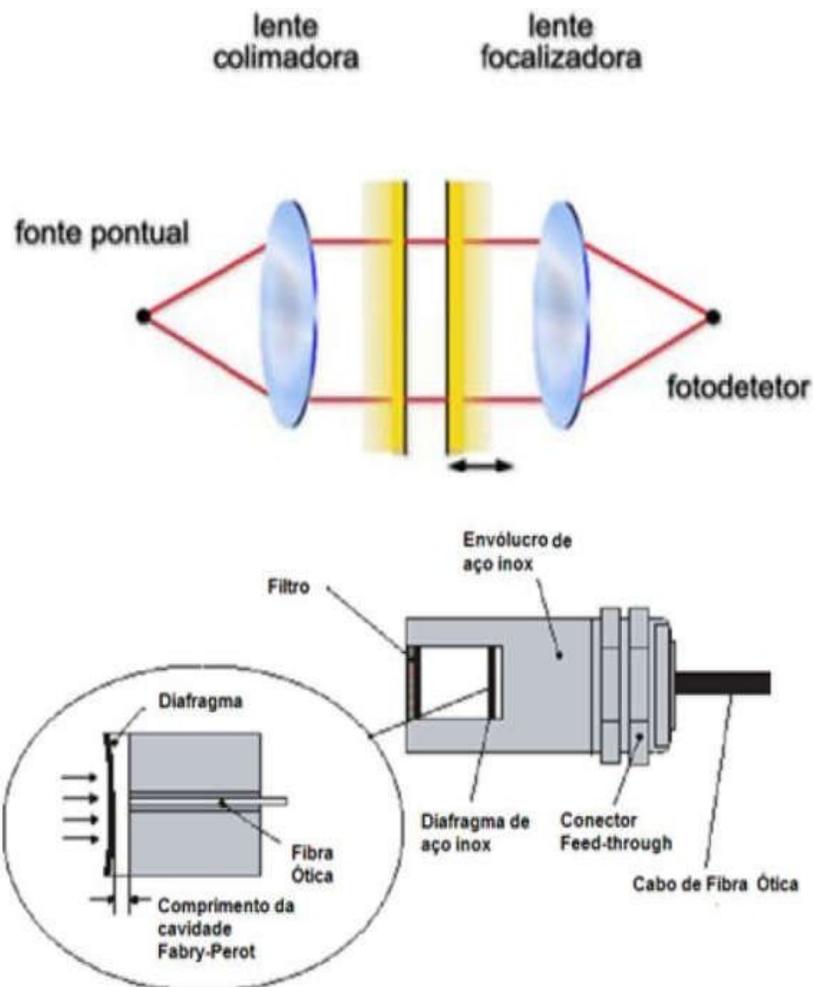
# Óticos



## Pressure transducer based on the Fabry-Perot interferometer



- ✓ Usado geralmente para medidas de comprimentos de onda com alta precisão, onde essencialmente dois espelhos parcialmente refletores (de vidro ou quartzo) são alinhados e se obtém o contraste de franjas máximo e a distância entre os mesmos pela variação mecânica
- ✓ Esta variação da distância poderia ser gerada por pressão e, com isso, tem-se um sensor de pressão



# Óticos



## ✓ VANTAGENS

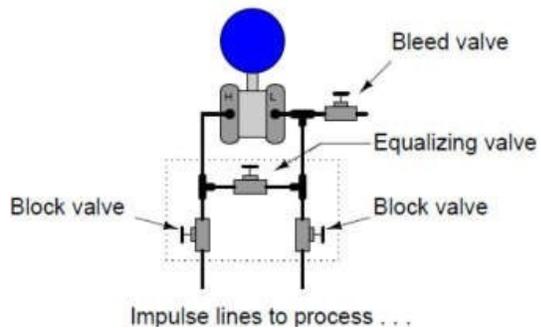
- Alta sensibilidade
- Tamanho reduzido
- Flexibilidade e resistência
- Baixo peso
- Vida útil longa
- Distância de transmissão longa
- Baixa reatividade química do material
- Ideal para operar em ambientes com risco de explosão e intrinsecamente seguros
- Isolamento elétrico, ideal para operar em ambientes com alta tensão
- Não exigem muita manutenção
- Têm uma excelente estabilidade
- São projetados para medições de longa duração
- Eles estão disponíveis para faixas de 5 PSig a 60.000 PSig (35 kPa a 413 MPa) e com 0,1 % de precisão de fundo de escala



## Acessórios



- ✓ Um acessório importante para os transmissores de DP é a válvula Manifold
- ✓ Este dispositivo incorpora válvulas manuais para isolar e equalizar a pressão do processo para o transmissor, para fins de manutenção e de calibração
- ✓ A ilustração a seguir mostra três válvulas compreendendo um coletor de três válvulas (dentro do quadro de linha tracejada), bem como uma quarta válvula chamada de válvula "bleed", utilizada para desafogar a pressão do fluido aprisionado para a atmosfera



## Especificação de Transmissores de Pressão

- ✓ O que se pretende medir?
- ✓ Para que medir pressão?
- ✓ Qual é o fluido do processo?
- ✓ Protocolo de comunicação?
- ✓ Pré-configurações?
- ✓ Certificações?
- ✓ Faixa de pressão / rangeabilidade?
- ✓ Controle PID

### ✓ Fluido do processo

- O fornecedor deverá ser informado das características do fluido
- Em geral o fabricante poderá recomendar materiais ou conexões especiais
- Vale lembrar que a decisão final será sempre do usuário ou da empresa de engenharia envolvida
- Alguns dados do fluido de processo são fundamentais na escolha do transmissor

### ✓ Fluido do processo

- Estado (líquido, gás, vapor)
  - Define a posição da válvula de dreno
- Pressão máxima do processo
  - Importante para a avaliação dos limites de sobre pressão e pressão estática do transmissor
- Temperatura máxima do processo
  - Poderá ser determinante para o uso de selos remotos ou apenas manter uma distância mínima na linha de impulso (*tubing*)

✓ Faixa de pressão / *Rangeabilidade*

○ Os fabricantes adotam uma terminologia padronizada que precisa ser conhecida

▪ *Range*

• É faixa de medida ou conjunto de valores da grandeza medida fornecido pelo instrumento, consideradas todas as suas faixas nominais de escala

▪ URL (*Upper Range Limit*)

• É a mais alta pressão que o transmissor de pressão

✓ Faixa de pressão / *Rangeabilidade*

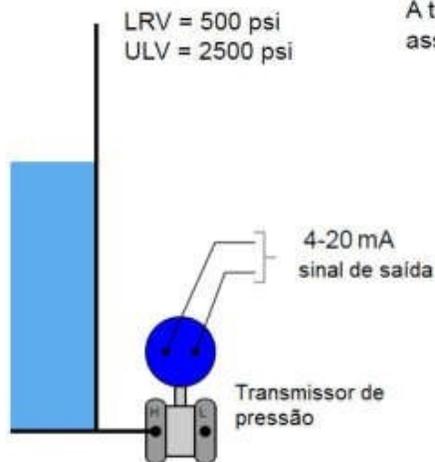
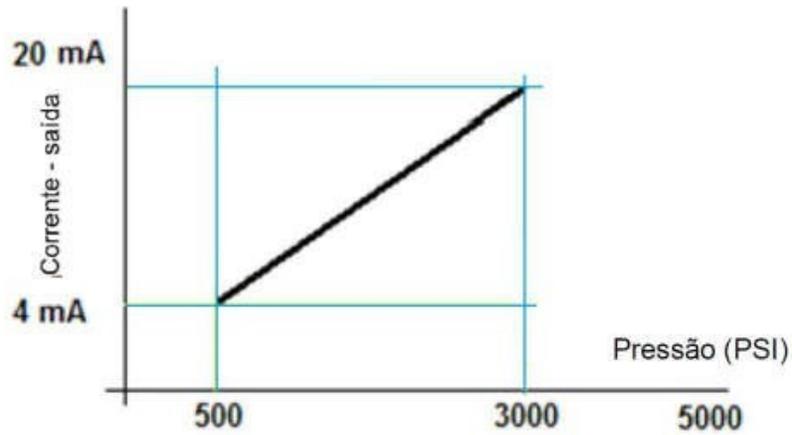
▪ LRL (*Lower Range Limit*)

• É a mais baixa pressão que o transmissor de pressão foi configurado para medir, respeitando-se o limite inferior do sensor

▪ SPAN (Range Calibrado)

• A faixa de trabalho onde é feito a calibração: URL – LRL

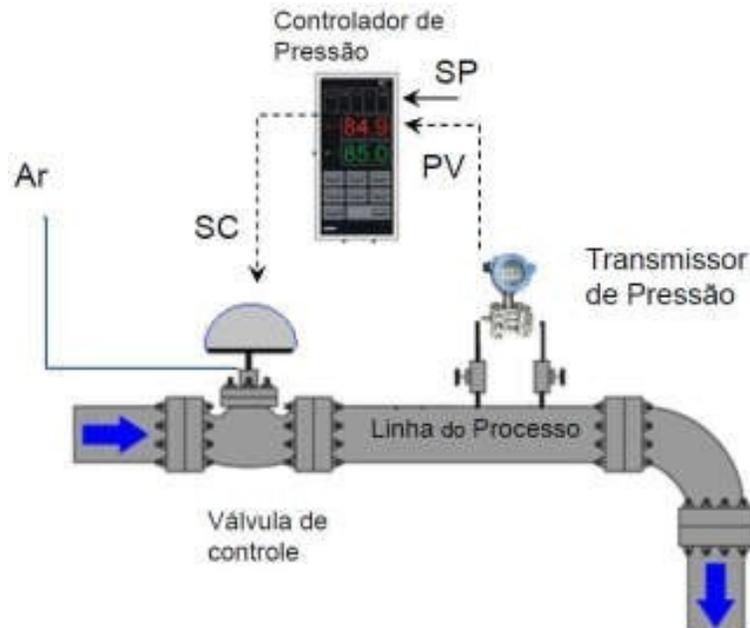
○ A relação URL/SPAN mínima define a *rangeabilidade* do instrumento



A tabela de valores para este transmissor, assumindo calibração perfeita (erro zero):

Pressão medida (PSI)	% do Span	Sinal saída (mA)
500	0	4
	35	9,6
1500	50	12
2100	80	
2500	100	20

# Malha de controle típica da pressão da Pressão



## Bibliografia

[1] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner J.. Instrumentação e Fundamentos de Medidas. 2a ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2010, v.1.

## Créditos

Material desenvolvido por

**Profº Engº Hermom Leal, Msc.**

Doutorando em Eng.ª Elétrica pela  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP  
[hermom.moreira@fatec.sp.gov.br](mailto:hermom.moreira@fatec.sp.gov.br)  
[hermom.leal@usp.br](mailto:hermom.leal@usp.br)

