

[5] – Processos Contínuos

PRO 3252 Automação e Controle

Mauro de Mesquita Spinola
Marcelo Schneck de Paula Pessoa
EPUSP-PRO



EPUSP

As perguntas de hoje:

- O que é um processo contínuo?
- Quais suas características?



EPUSP

Processos contínuos

Conforme já visto nos tipos de produção, os processos contínuos se caracterizam por:

□ (enumerar)



UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

Processos contínuos

Exemplos:

□ (dê exemplos)



EPUSP

Processos contínuos

Exemplos:

- Geração e Distribuição de Energia
- Usina Nuclear
- Captação, Tratamento e Distribuição de Água
- Alto-forno (produção de ferro gusa)
- Produção de Petróleo e Derivados



EPUSP

Processos contínuos

Conforme já visto nos tipos de produção, os processos contínuos:

- ❑ Operam com grandezas contínuas
- ❑ Operações de ciclo longo
- ❑ Operação 24 x7 (24 horas por dia 7 dias por semana)
- ❑ Equipamentos com configurações específicas (há diferenças em plantas idênticas)



EPUSP

Exemplo

<https://www.youtube.com/watch?v=DcMqQfcUp1Y>

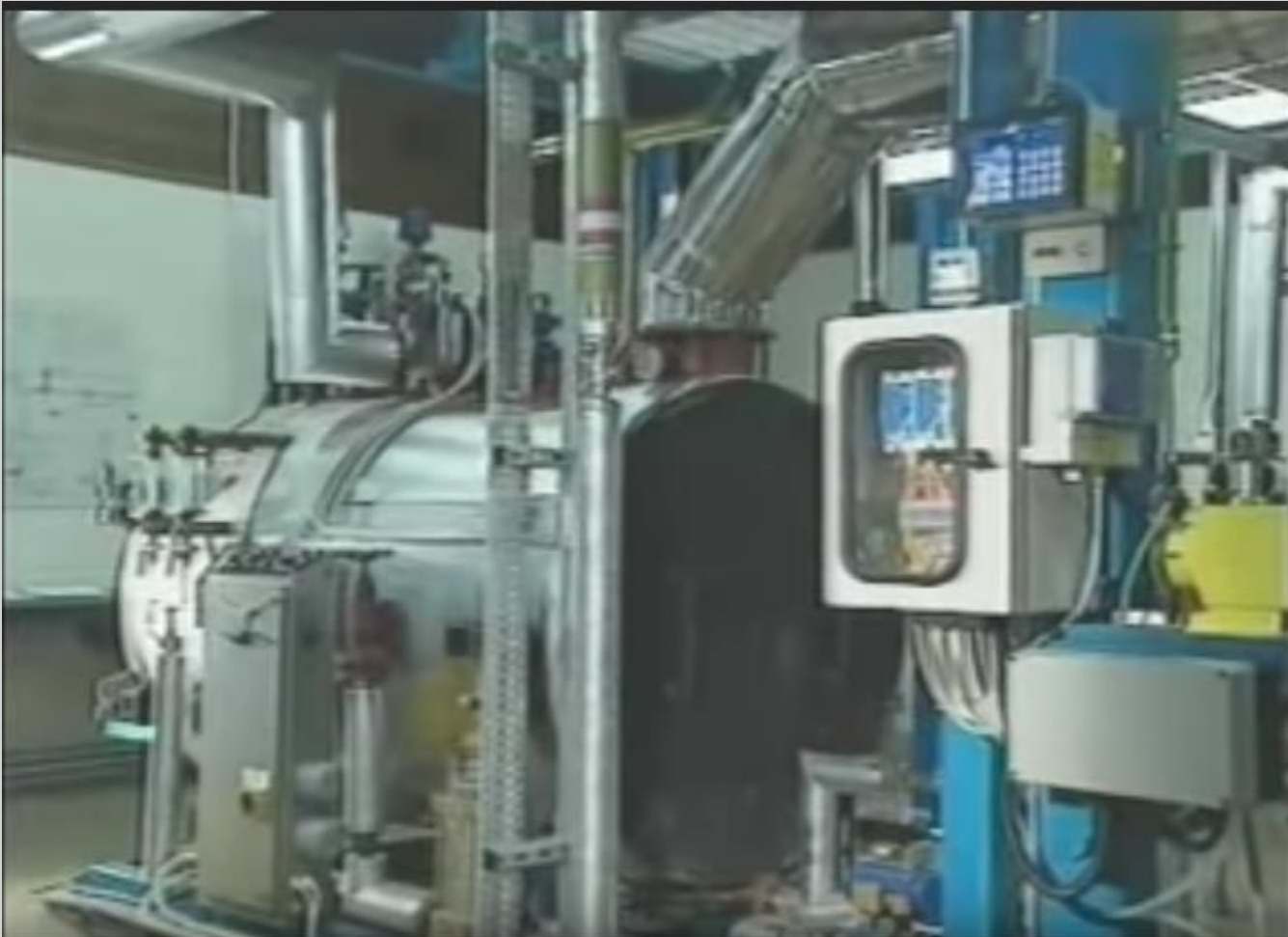


USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP



Trabalho CEFET sobre caldeira



- ❑ **IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO, CONTROLE E SUPERVISÃO DA COMBUSTÃO EM UMA CALDEIRA**
- ❑ **CEFET – MG**
- ❑ **Trabalho de formatura Tácio 2017**
- ❑ http://www2.dee.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/18/2017/11/TCC_2017_1_TLQueiroz.pdf

Caldeira: automação

- Cuidados no projeto
- Proteções
- Normas a serem seguidas
- O que automatizar
- Como automatizar
- Como desenhar o esquema de automação



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

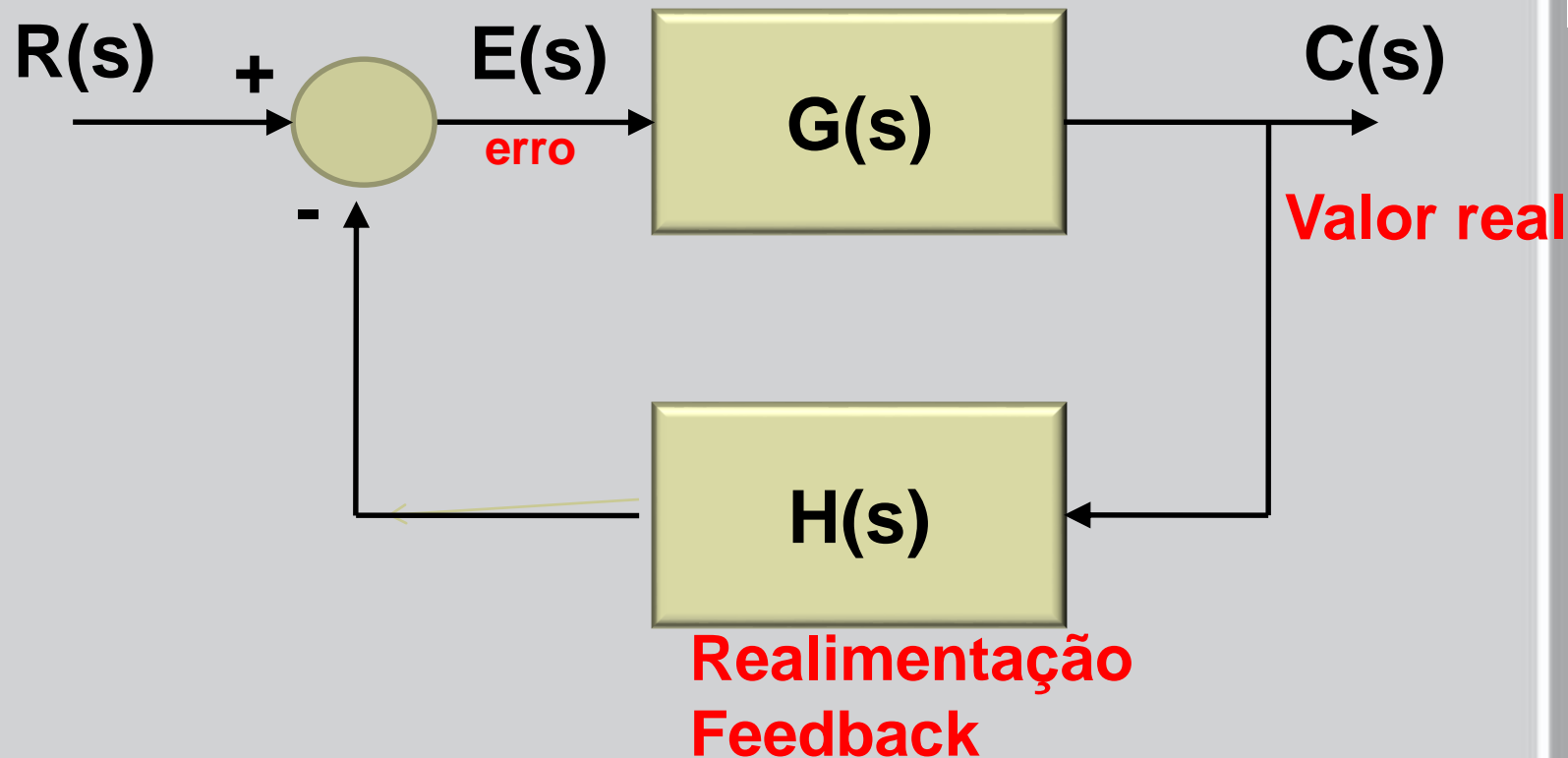
Trabalho UTFPR sobre caldeira



- ❑ Controle de Nível em Caldeiras
- ❑ UTFPR – notas de aula
- ❑ https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjPiMbL_bnrAhUuH7kGHRJhDEYQFjABegQIBBAB&url=http%3A%2F%2Fpaginapessoal.utfpr.edu.br%2Fcamaral%2Finstrumentacao-industrial%2F15%2520-

Sistema de automação

Valor desejado
Set Point



Exercício de Instrumentação

- ❑ Vamos fazer um exercício para compreender a notação dos instrumentos



USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

Trocador de calor - 1

- Analise o diagrama e identifique o funcionamento do trocador de calor
- Como funciona?
- Quais são as entradas e as saídas?



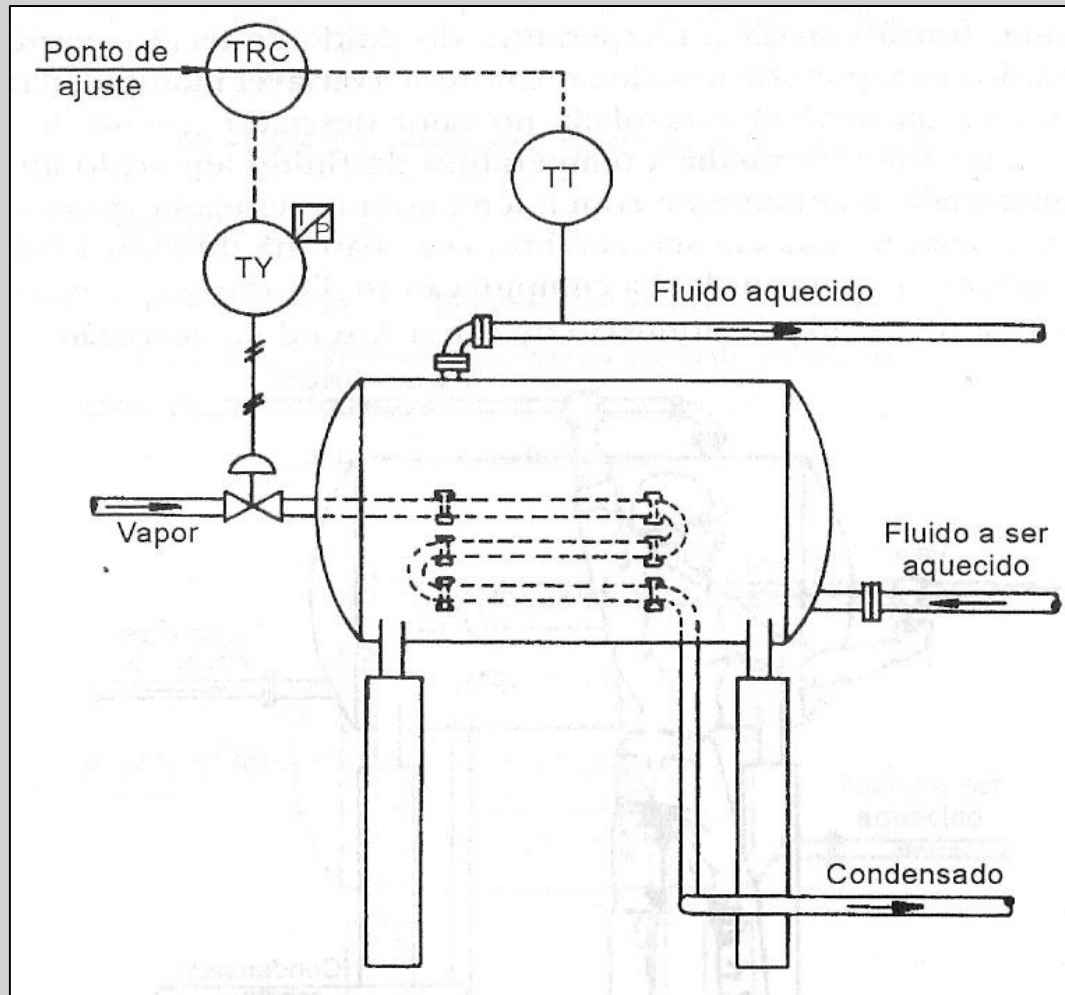
USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

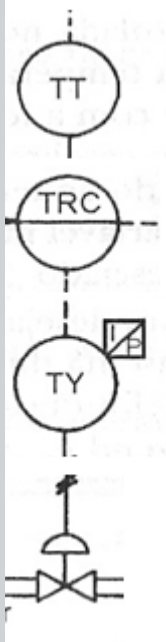


EPUSP

Trocador de calor -2



Simbologia da Norma ISA S5.1

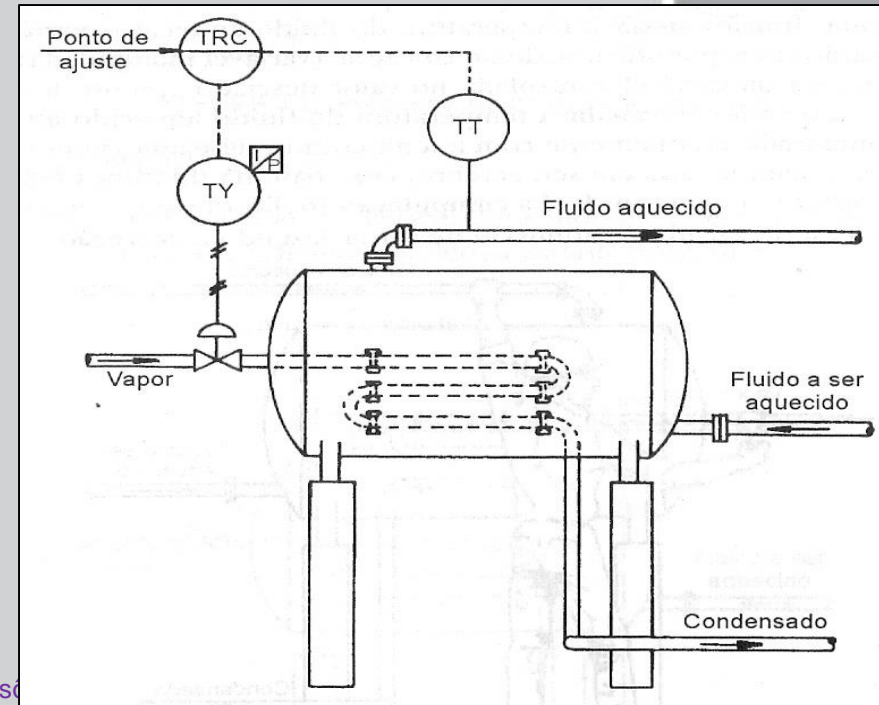


TT-transmissor de temperatura

TRC – controlador de temperatura

TY – relé de atuação

Válvula de controle



Trocador de calor - 3

- Adição de energia térmica ao fluido em aquecimento
- Variável controlada: qual é?
- Variável manipulada: qual é?



USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



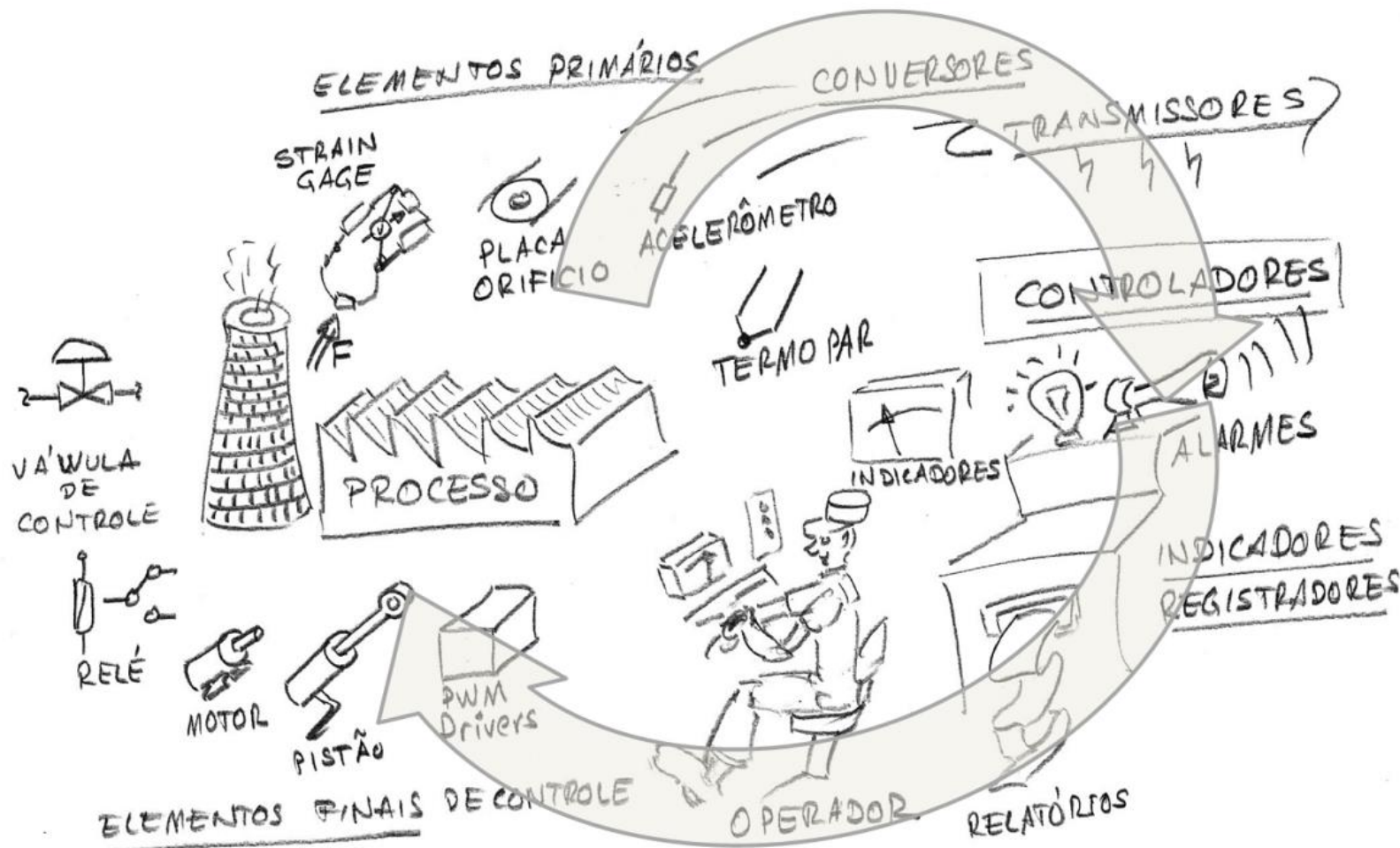
EPUSP

Classificação dos instrumentos



- Instrumentos cegos** (sem indicação)
- Instrumentos indicadores**
- Instrumentos registradores**
- Elementos primários** (contato com variável controlada)
- Transmissores**
- Conversores** (geram saída padrão)
- Controladores**

Sistema de instrumentação



Que variáveis são tratadas?

Fluidos:

- Vazão, pressão, temperatura

Elétricas:

- Tensão, corrente, potência

Mecânicas:

- Força, rotação, deslocamento, aceleração

Tempo

Qual a estrutura?

Sistema de Controle

Sistema Supervisório

Instrumentação

Vazão da variável 1

Pressão da variável 2

Vazão da variável 3

Vazão da variável 4

Pressão da variável 5

Vazão da variável 7

Tensão da variável 9

Corrente da variável 12

Momento da variável 27

Vazão da variável n

Processo Contínuo

Características da automação

- Confiabilidade**
- Segurança**
- Propriedades de tempo real**
- Facilidade de manutenção**
- Facilidade de migração**
- Escalabilidade**

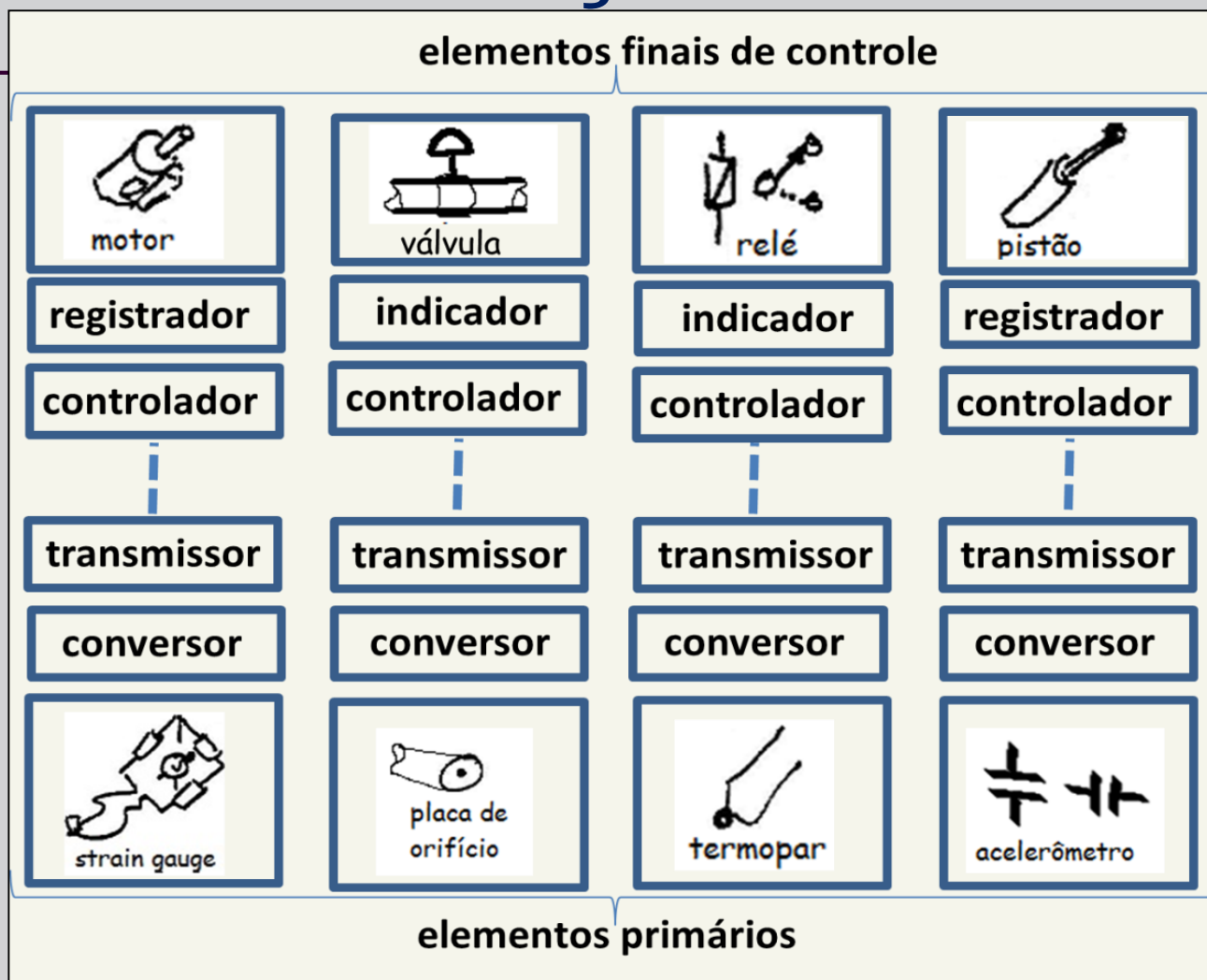


EPUSP

Descrição da

INSTRUMENTAÇÃO

Instrumentação



Instrumentação

- ❑ Instrumentação no processo
- ❑ Instrumentação na sala
- ❑ Instrumentação retorno para o processo:
Comando



EPUSP

Instrumentação

❑ No processo:

- Sensores (transdutores)
- Transmissores
- Cabo de transmissão do sinal até a sala de controle (alto custo)

❑ Na sala:

- Amplificadores
- Linearizadores
- Malhas de controle
- Comandos

❑ Retorno:

- Atuadores para comando

Instrumentação – sensores no processo



EPUSP

❑ Sensores ou Transdutores

- transformam as grandezas do processo em uma grandeza adequada para os equipamentos de controle

❑ Geralmente transformam em uma corrente ou uma tensão elétrica

❑ Nas tecnologias mais antigas (pneumática) transformam em pressão

Instrumentação – transmissores

no processo



- ❑ Transdutores normalmente estão localizados dentro dos próprios equipamentos da planta industrial junto das grandezas medidas
- ❑ Os operadores normalmente ficam em uma sala de controle
- ❑ A função transmissão realiza o transporte das variáveis lidas para a sala de controle
- ❑ Nos sistemas analógicos existe um padrão que transmite os sinais com uma corrente de 4 a 20 mA

Instrumentação – transmissores

no processo



- ❑ O sinal é transmitido dos sensores para a sala de controle através de cabos especiais que custam muito caro, pois para cada transdutor é necessário um cabo.
- ❑ Muitas vezes o cabo de transmissão é mais caro que o próprio transdutor (por isso o destaque aqui)

Instrumentação – amplificadores na sala



- O amplificador aumenta a amplitude do sinal recebido para ficar em faixas de valores padronizados e adequados para tratamento.
- O amplificador pode estar junto com o transdutor ou na sala de controle dependendo da tecnologia

Instrumentação – linearizadores na sala



- ❑ Os transdutores, de uma maneira geral, não possuem uma relação linear entre a grandeza medida e a saída gerada. Para tanto existem circuitos que realizam essa função de tornar a indicação linear na faixa de medição.
- ❑ Essa função é exercida por circuitos especiais na tecnologia analógica e no software na tecnologia digital

Instrumentação – malha controle na sala



- ❑ As grandezas medidas do campo muitas vezes são a entrada de uma malha de controle
- ❑ As malhas de controle são similares àquelas estudadas no capítulo de Sistemas de Controle
- ❑ A diferença é que, em um processo real, existem muitas malhas de controle e há dependência entre variáveis controladas.

Instrumentação – comandos na sala



EPUSP

- ❑ **O resultado do sistema de controle é normalmente um comando de retorno para o processo**
- ❑ **Os comandos são realizados por atuadores**
- ❑ **Esse retorno é realizado com diversos tipos de dispositivos tais como:**
 - Válvulas de comando para o controle de fluxo de fluidos
 - Relés para acionamento de equipamentos
 - Motores para movimentação de diversos dispositivos
- ❑ **O retorno para o campo pode ser através de cabos e transmissores similares aos sensores.**

Instrumentação

❑ No processo:

- Sensores (transdutores)
- Transmissores
- Cabo de transmissão do sinal até a sala de controle (alto custo)

❑ Na sala:

- Amplificadores
- Linearizadores
- Malhas de controle
- Comandos

❑ Retorno:

- Atuadores para comando

Tecnologias da instrumentação



- Pneumática
- Eletrônica analógica
- Eletrônica digital

Tecnologias da instrumentação pneumática



- ❑ Mais antiga (final século XIX)
- ❑ Opera com gás comprimido
- ❑ Pressão padronizada 0,2 a 1 kgf/cm²
- ❑ Problemas:
 - Necessidade de tubulação
 - Vazamento de gás
 - Tempo de latência (lento)

Tecnologias da instrumentação pneumática



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

- ❑ Alternativa: sistema hidráulico
- ❑ Vantagens:
 - Acionamento com grandes forças
 - Tempo de latência menor
- ❑ Problemas:
 - Necessidade de tubulação de óleo
 - Necessidade de inspeção periódica (vazamento)
 - Necessidade de equipamentos auxiliares:
 - Bombas
 - Filtros,...

Tecnologias da instrumentação eletrônica analógica



- ❑ Padrão de sinais de 4 a 20 mA
- ❑ Vantagens:
 - Permite longas distâncias
 - Alimentação através do próprio sinal
 - Permite fácil conexão com computadores (4 a 20 mA)
 - Fácil instalação
 - Permite operações matemáticas
 - Permite ligar vários instrumentos no mesmo *loop* de corrente

Tecnologias da instrumentação eletrônica analógica



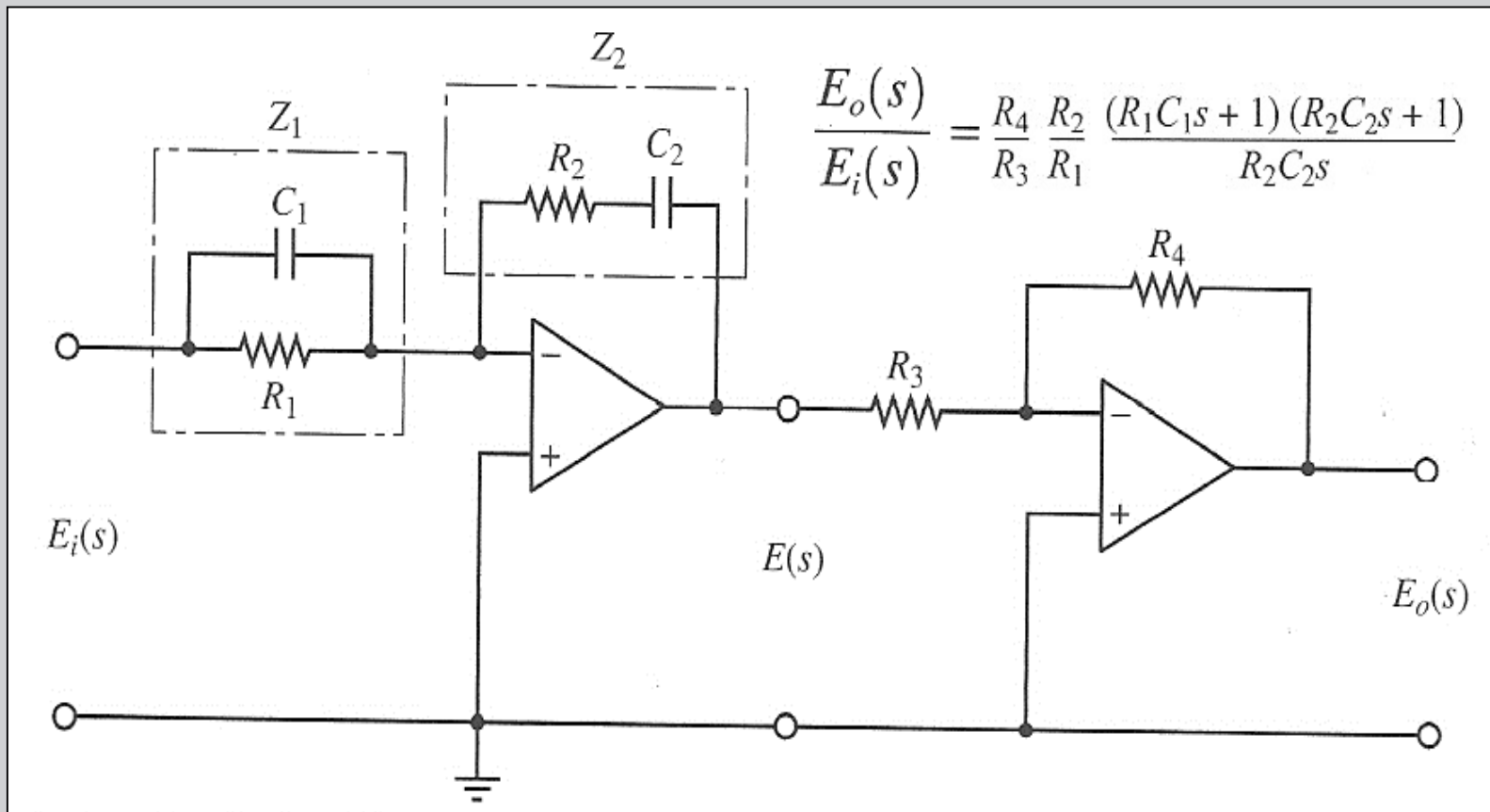
EPUSP

□ Problemas:

- Mínimo um par de fios para cada instrumento
- Áreas de risco exigem cuidados especiais (explosão)
- Encaminhamento de cabos exige cuidados
- Necessidade de blindagem em cabos (caro)
- Circuitos dedicados para cada função (amplificador, linearizador, etc)

Tecnologias da instrumentação eletrônica analógica

Exemplo de controlador PID analógico



Tecnologias da instrumentação eletrônica digital



USP
UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

- ❑ Tecnologia mais recente
- ❑ Vantagens:
 - Não necessita de um cabo para cada instrumento
 - Pode usar par trançado ou fibra ótica para transmissão de dados
 - Fibra ótica é imune a ruídos elétricos
 - Alta imunidade a ruídos externos
 - Permite configuração, diagnóstico de falha e ajuste em qualquer ponto da malha
 - Menor custo final

Tecnologias da instrumentação eletrônica digital



❑ Desvantagens:

- Vários protocolos de fabricantes diferentes dificulta a integração de sistemas
- O rompimento de um cabo pode cessar o controle de diversas malhas

Tecnologias da instrumentação eletrônica digital

- Conversão A/D análogo-digital

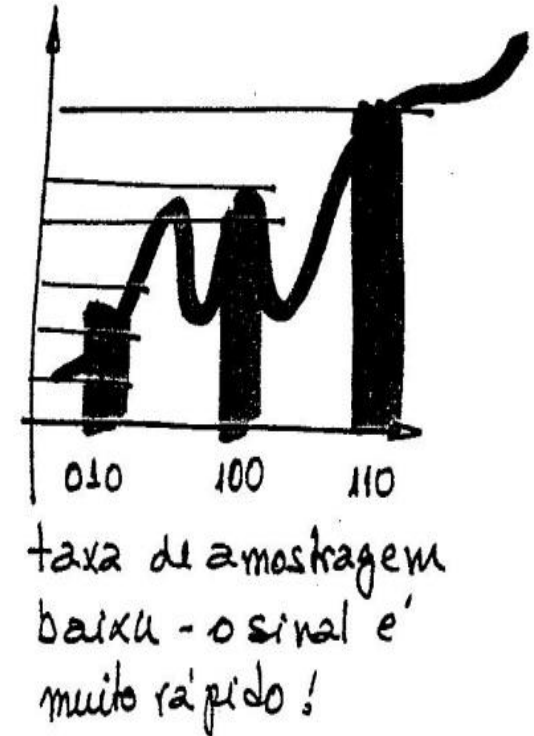
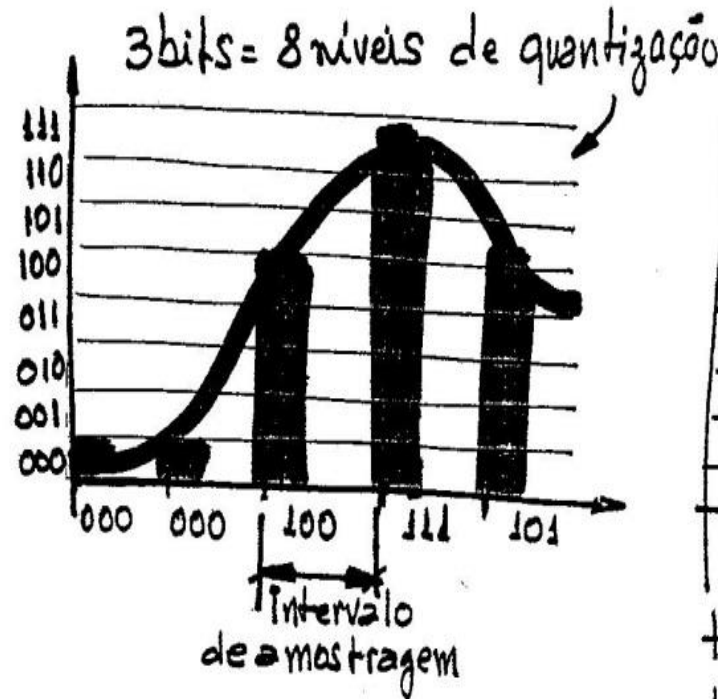


FIGURA 5- Conversor Análogo - Digital

Conversão A/D

- Leitura 1 – Valor 000
- Leitura 2 – Valor 000
- Leitura 3 – Valor 100
- Leitura 4 – Valor 111
- Leitura 5 – Valor 101



USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

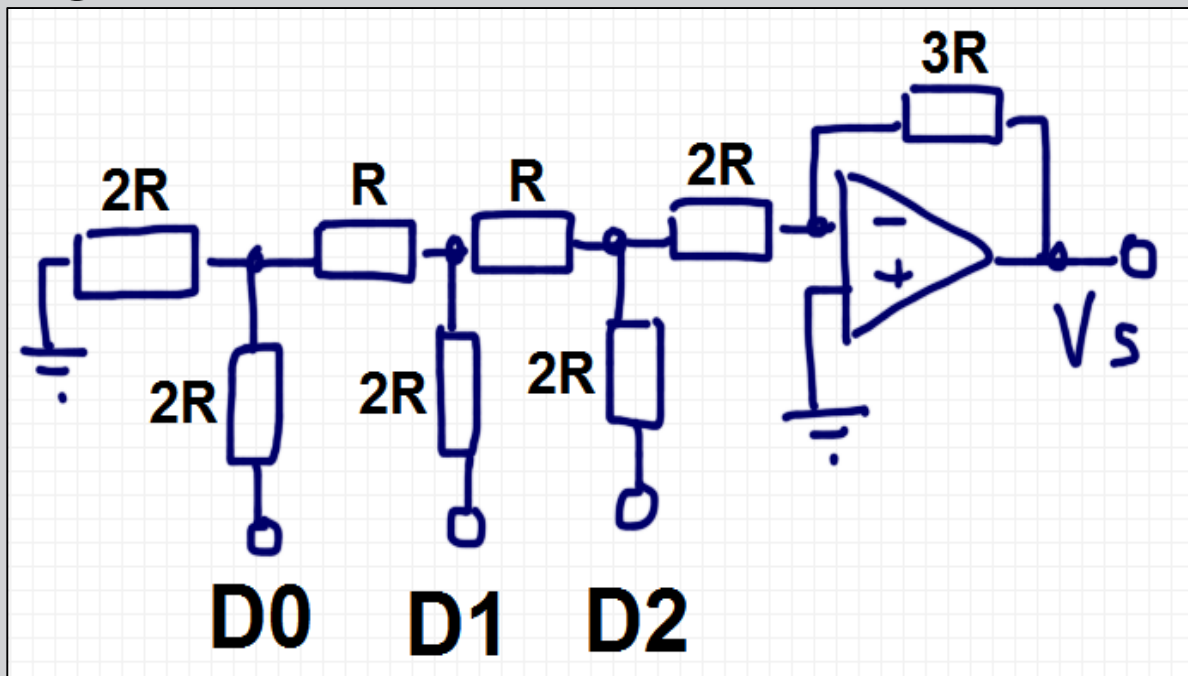
Tecnologias da instrumentação eletrônica digital



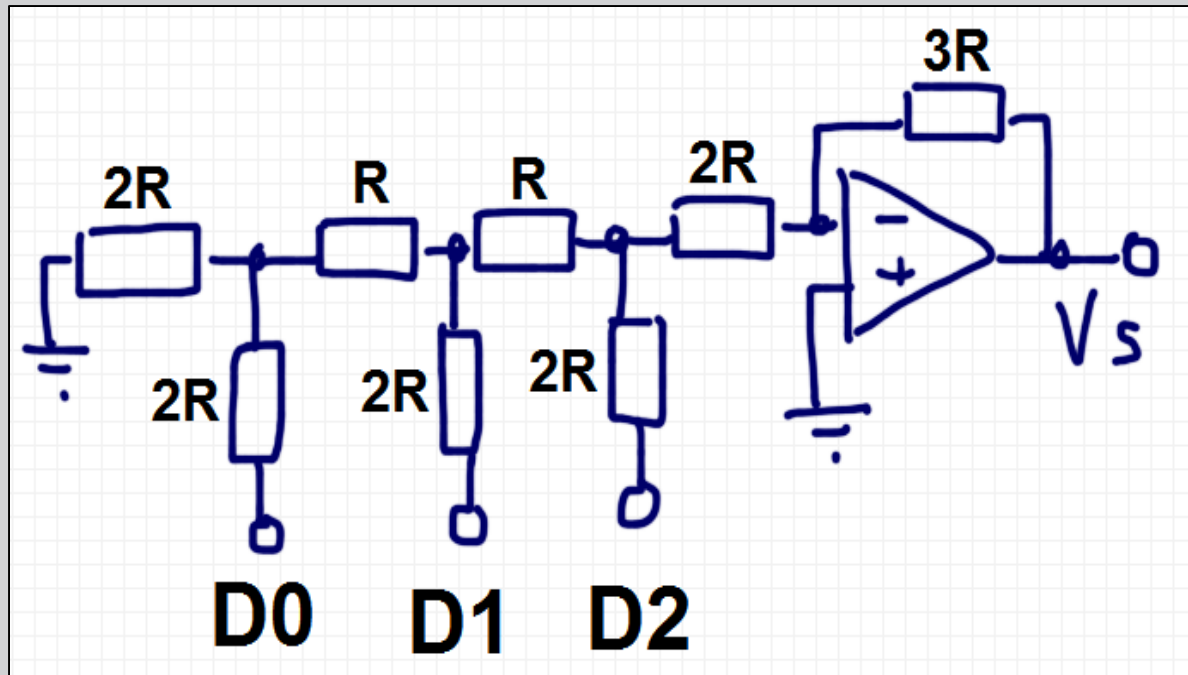
- ❑ Conversão A/D
- ❑ Qual a discriminação de um conversor que lê um sinal analógico de 5V com um conversor de 8 bits?

Tecnologias da instrumentação eletrônica digital

- ❑ Conversão D/A
- ❑ É o fenômeno inverso: entra digital e sai analógico



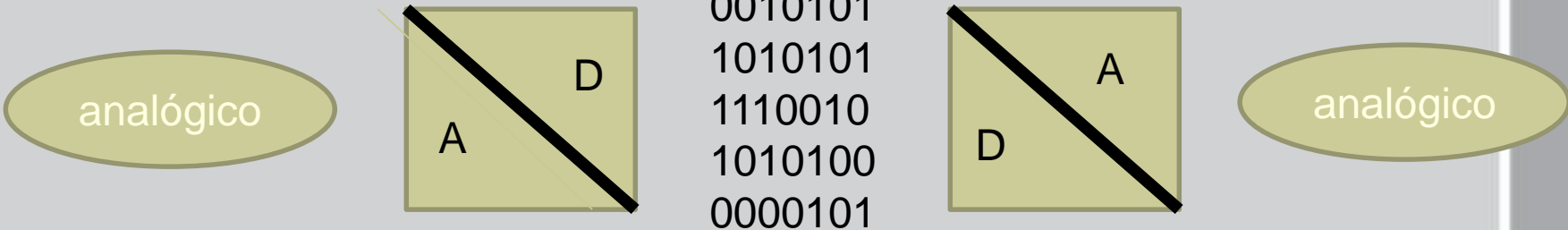
Tecnologias da instrumentação eletrônica digital



$$V_o = -V_{ref} \left(\frac{D_2}{2^1} + \frac{D_1}{2^2} + \frac{D_0}{2^3} \right)$$

Tecnologias da instrumentação eletrônica digital

- ❑ Teorema da amostragem
- ❑ Dá para recuperar um sinal analógico exatamente como era antes de ser convertido?



Tecnologias da instrumentação eletrônica digital



- Dá para recuperar um sinal analógico exatamente como era antes de ser convertido?
- Resposta:
 - Sim, desde que a frequência de amostragem seja no mínimo o dobro da máxima frequência do sinal amostrado

Descrição dos

SISTEMAS SUPERVISÓRIOS E DE CONTROLE

Sistemas supervisórios



USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

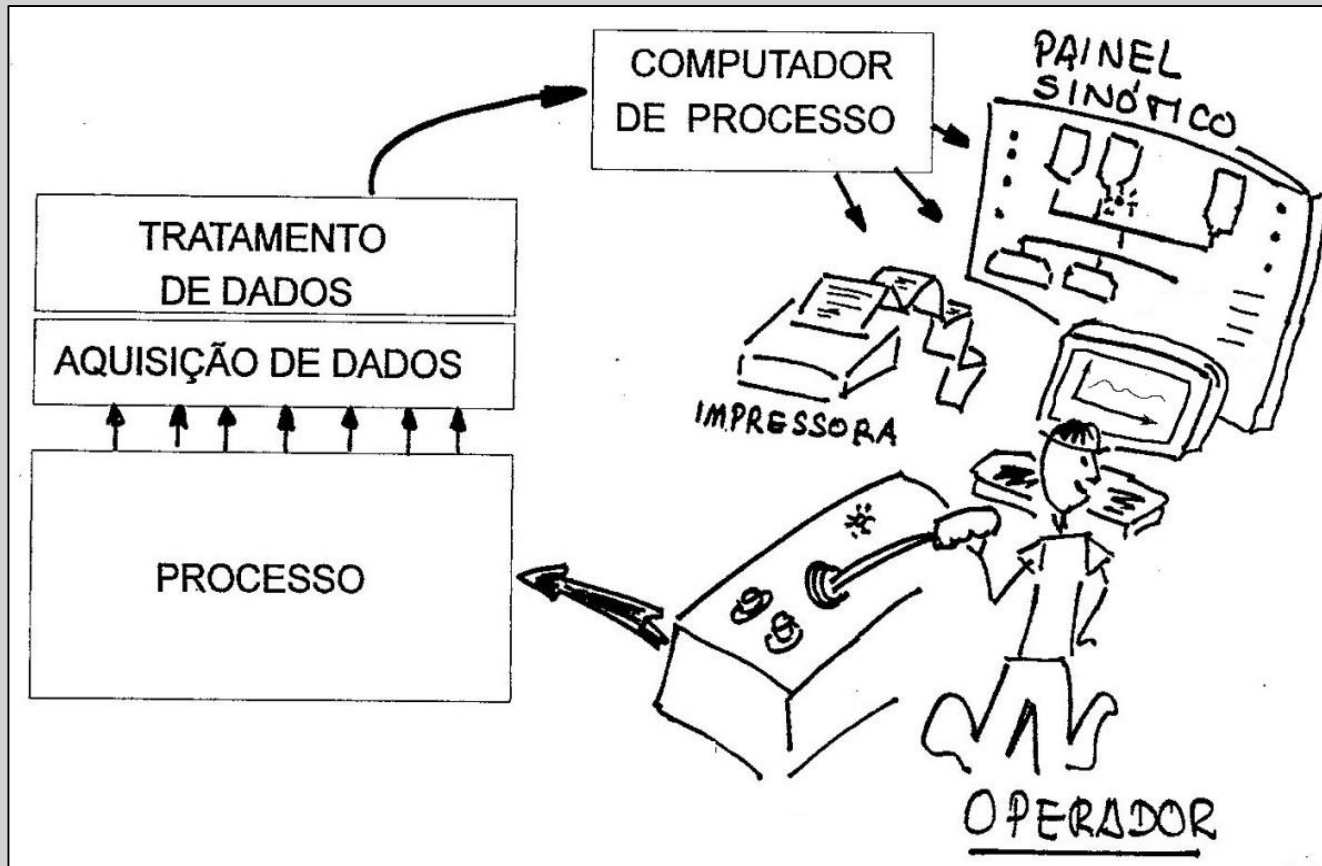


EPUSP

- ❑ Operação manual até a década de 1940
- ❑ Muitos operadores circulando o campo para realizar anotações e verificar como o processo está funcionando
- ❑ Década de 1950 início dos sistemas de controle automático
- ❑ Década de 1960 evolução da teoria de controle automático
- ❑ Com os sistemas supervisórios reduziu-se o número de operadores no campo

Sistemas supervisórios

- Estão um nível acima da instrumentação



Sistemas supervisórios



EPUSP

□ Sistemas supervisórios:

- Operação centralizada
- Uso de painel sinótico (vídeo wall)
- Uso de comandos na sala
- Aplicativos como o SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition
- Sistema rico de informações de segurança (*safety*) como alarmes sonoros e visuais para garantir a operação com riscos controlados
- Necessidade de identificação rápida da causa raiz de uma falha para evitar o alastramento do problema

Sistemas de controle

- ❑ Sistemas de controle
- ❑ Permitem a realização do controle dos sistemas de campo através de atuação do operador
- ❑ Trata-se de comandos tipo manetes para acionar elementos do campo que precisam de supervisão humana
- ❑ Nos casos mais simples, o sistema opera sozinho e o operador apenas supervisiona sem interferência



EPUSP

Descrição da

SALA DE CONTROLE

Sala de controle

- ❑ Local físico onde se localiza o Sistema de Supervisão
- ❑ Cuidados com a sala
 - Evitar cansaço dos operadores
 - Interface homem-máquina que permita a fácil identificação de problemas
 - Aplicação de ergonomia cognitiva para evitar erros humanos por falha de interpretação das informações oferecidas pelo sistema

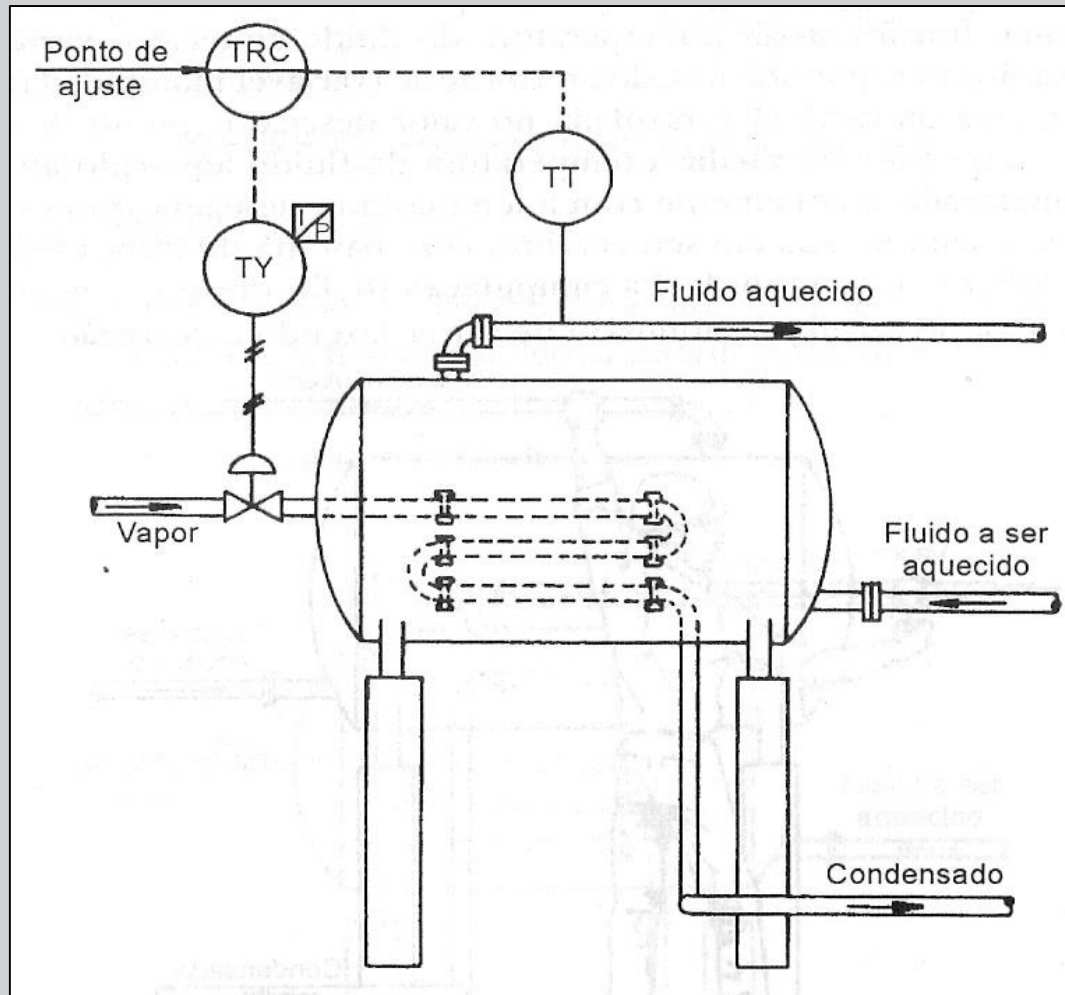


EPUSP

Descrição da

SIMBOLOGIA DE INSTRUMENTAÇÃO

Trocador de calor -2



Trocador de calor - 3

- ❑ Adição de energia térmica ao fluido em aquecimento
- ❑ Variável controlada: quem é?
- ❑ Variável manipulada: quem é?

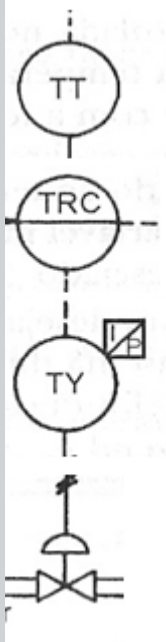


EPUSP

Simbologia da Norma ISA S5.1

- ❑ Adição de energia térmica ao fluido em aquecimento
- ❑ Variável controlada: quem é?
- ❑ Variável manipulada: quem é?

Simbologia da Norma ISA S5.1

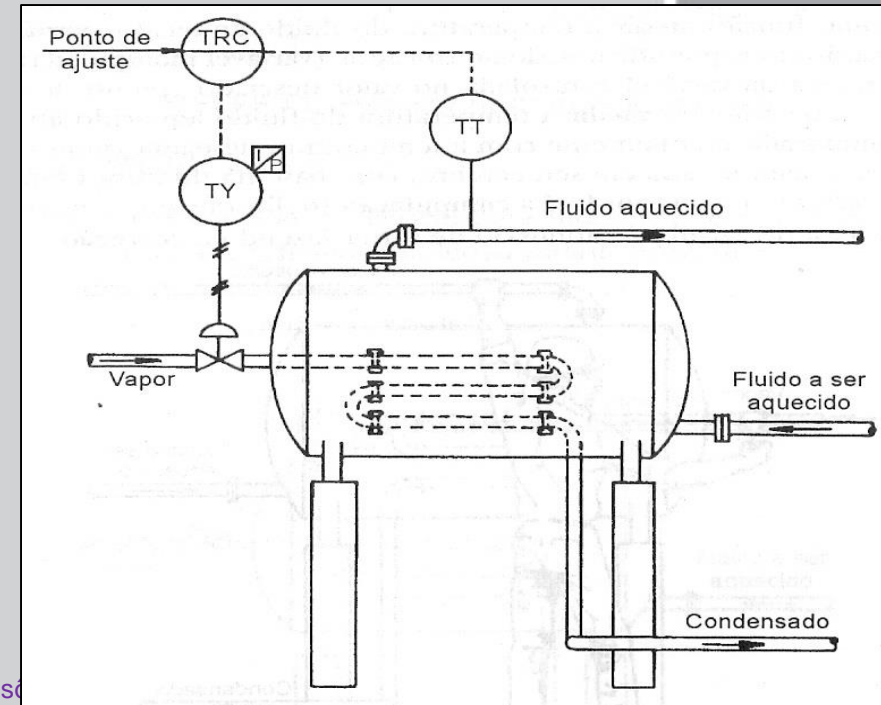


TT-transmissor de temperatura

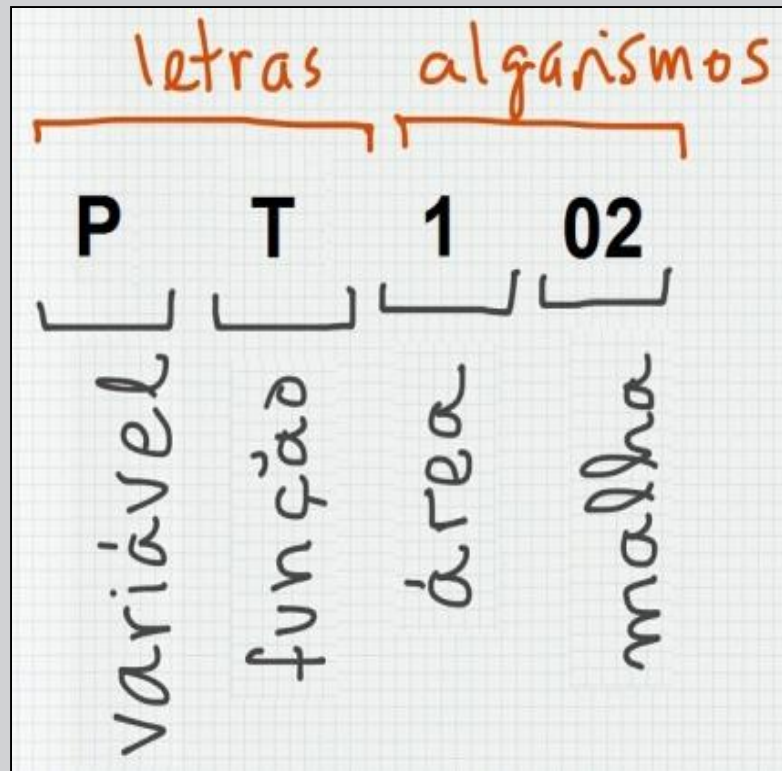
TRC – controlador de temperatura

TY – relé de atuação

Válvula de controle



Padrão de identificação da ISA



Identificação de instrumentos



	PRIMEIRA LETRA		LETRAS SUBSEQUENTES		
	Variável Medida ou inicial (3)	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
A	Analizador (4)	–	Alarme	–	
B	Chama de queimador	–	Indefinida	Indefinida (1)	Indefinida (1)
C	Condutividade elétrica	–	–	Controlador (12)	–
D	Densidade ou massa específica	Diferencial (3)	–	–	–
E	Tensão elétrica	–	Elemento primário	–	–
F	Vazão	Razão (fração) (3)	–	–	–
G	Medida dimensional	–	Visor (8)	–	–
H	Comando Manual	–	–	–	Alto (6, 14, 15)
I	Corrente elétrica	–	Indicador (9)	–	–

Identificação de instrumentos










	PRIMEIRA LETRA		LETRAS SUBSEQUENTES		
	Variável Medida ou inicial (3)	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
I	Corrente elétrica	–	Indicador (9)	–	–
J	Potência	Varredura ou Seletor (6)	–	–	–
K	Tempo, Tempo Programado	Taxa de Mudança de tempo (4,16)	–	Estação de Controle (17)	–
L	Nível	–	Lâmpada Piloto (10)	–	Baixo (6, 14, 15)
M	Umidade	–	–	–	Médio ou intermediário (6, 14)
N(1)	Indefinida	–	Indefinida (1)	Indefinida (1)	(6, 14)
O	Indefinida (1)	–	Orifício de restrição	–	Indefinida (1)
P	Pressão ou vácuo	–	Ponto de teste	–	–
Q	Quantidade ou evento	Integrador ou totalizados (3)	–	–	–
R	Radioatividade	–	Registrador ou impressor	–	–

Identificação de instrumentos




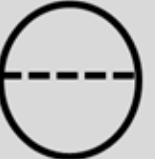








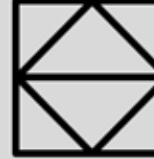





	PRIMEIRA LETRA		LETRAS SUBSEQUENTES		
	Variável Medida ou inicial (3)	Modificadora	Função de informação ou passiva	Função final	Modificadora
R	Radioatividade	–	Registrador ou impressor		–
S	Velocidade ou <u>freqüência</u>	Segurança (7)	–	Chave (12)	–
T	Temperatura	–	–	Transmissor	–
U	<u>Multivariável</u> (5)	–	* <u>Multifunção</u> (11)	* <u>Multifunção</u> (11)	* <u>Multifunção</u> (11)
V	Viscosidade	–	–	Válvula (12)	–
W	Peso ou força	–	Poço	–	–
X (2)	Não classificada	Diferencial (3)	Não classificada	Não classificada	Não classificada
Y	Indefinida (1)	–	–	Relé ou computação (11,13)	–
Z	Posição	Razão (fração) (3)	–	Elemento final de controle não classificado	–

Simbologia para as conexões

	<i>Descrição</i>	<i>Representação</i>
1	Conexão do processo, ligação mecânica ou suprimento ao <u>instrumento</u>	
2	Sinal pneumático ou sinal indefinido para diagramas de processo	
3	Sinal elétrico	
4	Tubo capilar (sistema cheio)	
5	Sinal hidráulico	
6	Sinal eletro magnético ou sônico (sem fios)	
7	Sinal de software	

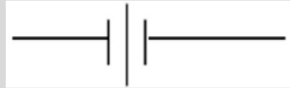
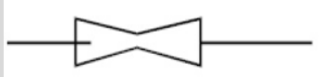
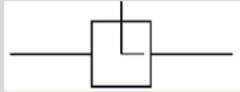

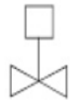
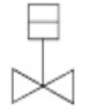


Simbologia para instrumentos

	Instrumentos	Painel principal acessível ao operador	Montado no campo	Painel auxiliar acessível ao operador	Painel auxiliar fora do alcance do operador
1	Instrumentos discretos				
2	Instrumentos compartilhados				
3	Computador de processo				
4	Controlador lógico programável				

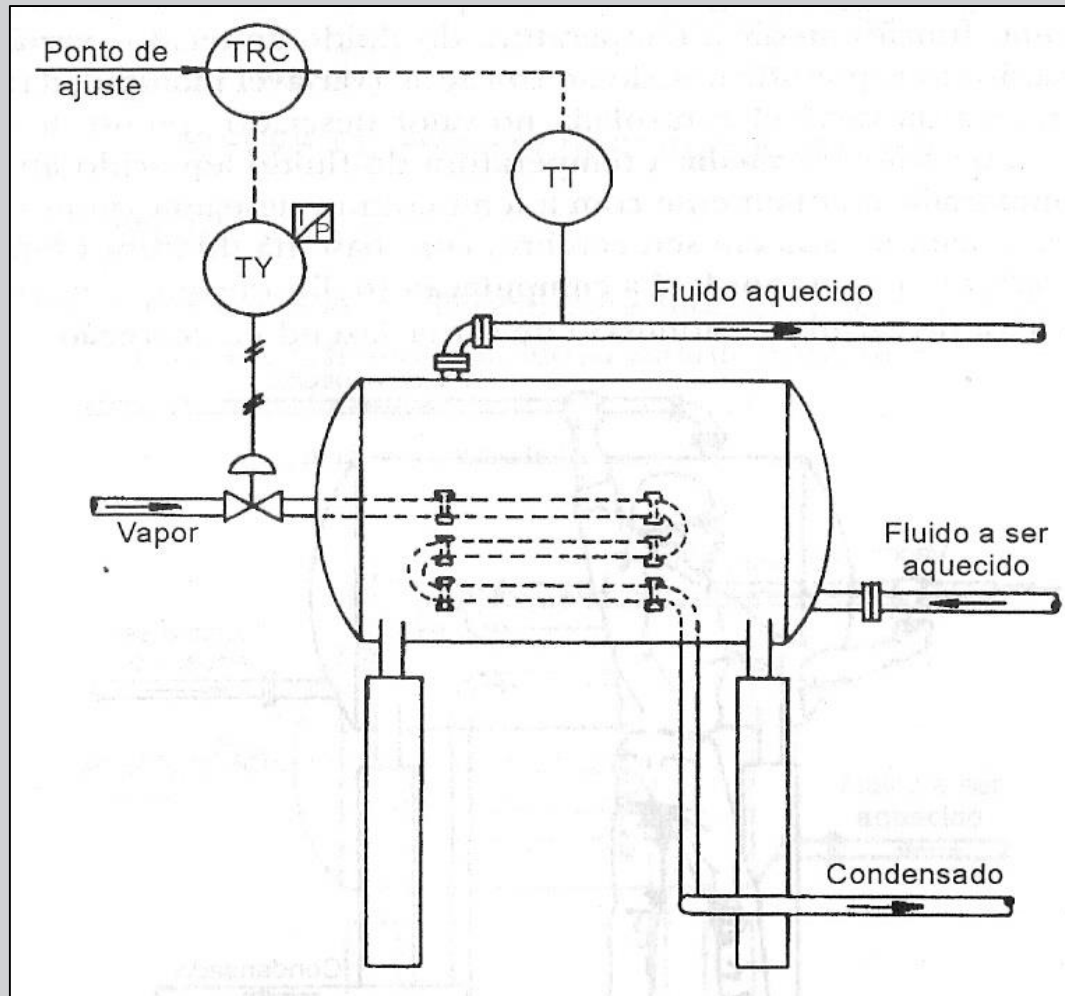
Simbologia das funções

SÍMBOLO	FUNÇÃO	SÍMBOLO	FUNÇÃO
Σ ou $+$	SOMA	\times	MULTIPLICAÇÃO
Σ/x	MÉDIA	\div	DIVISÃO
Δ ou $-$	SUBTRAÇÃO	$\sqrt{\quad}$	EXTRAÇÃO DE RAIZ QUADRADA
K ou P	PROPORCIONAL	$\sqrt[n]{\quad}$	EXTRAÇÃO DE RAIZ
\int ou I	INTEGRAL	x^N	EXPONENCIAÇÃO
$\frac{d}{dt}$ ou D	DERIVATIVO	$f(x)$	FUNÇÃO NÃO LINEAR
$>$	SELETOR DE SINAL ALTO	\triangleright	LIMITE SUPERIOR
$<$	SELETOR DE SINAL BAIXO	\triangleleft	LIMITE INFERIOR
\pm	POLARIZAÇÃO	∇	LIMITADOR DE SINAL
$f(t)$	FUNÇÃO TEMPO	$\frac{n}{n}$	CONVERSÃO DE SINAL

Válvulas e outros

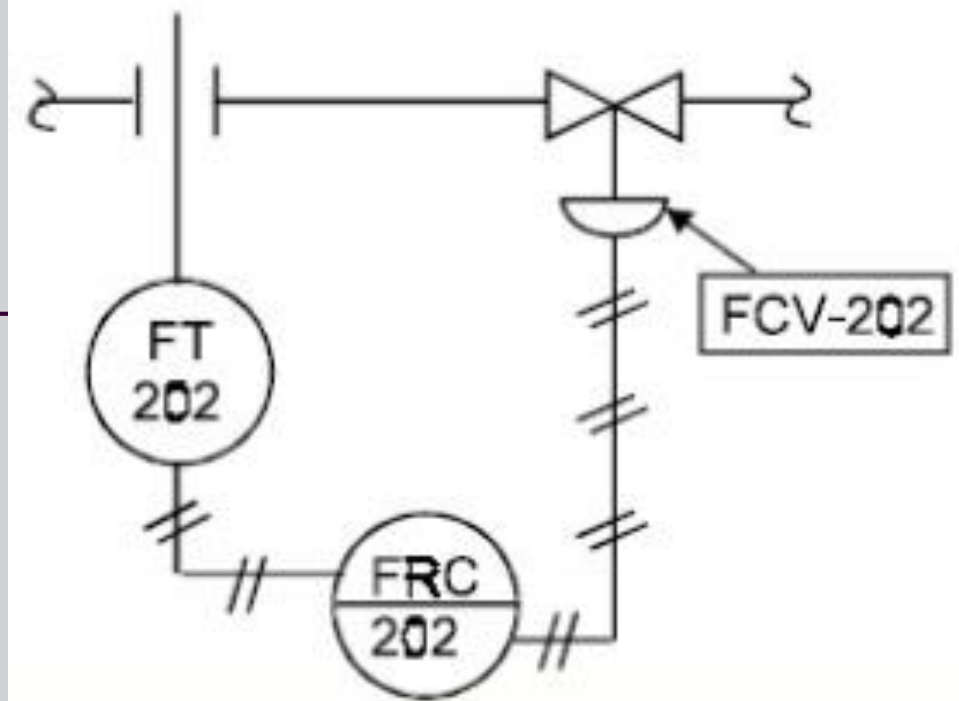
1	Placa de orifício	
2	Medidor venturi	
3	Tubo Pitot	
4	Válvula com atuador pneumático de diafragma	
5	Válvula com atuador elétrico	
6	Válvula com atuador hidráulico ou pneumático tipo pistão	
7	Válvula manual	
8	Válvula auto-operada de diafragma	

Retornando ao exemplo



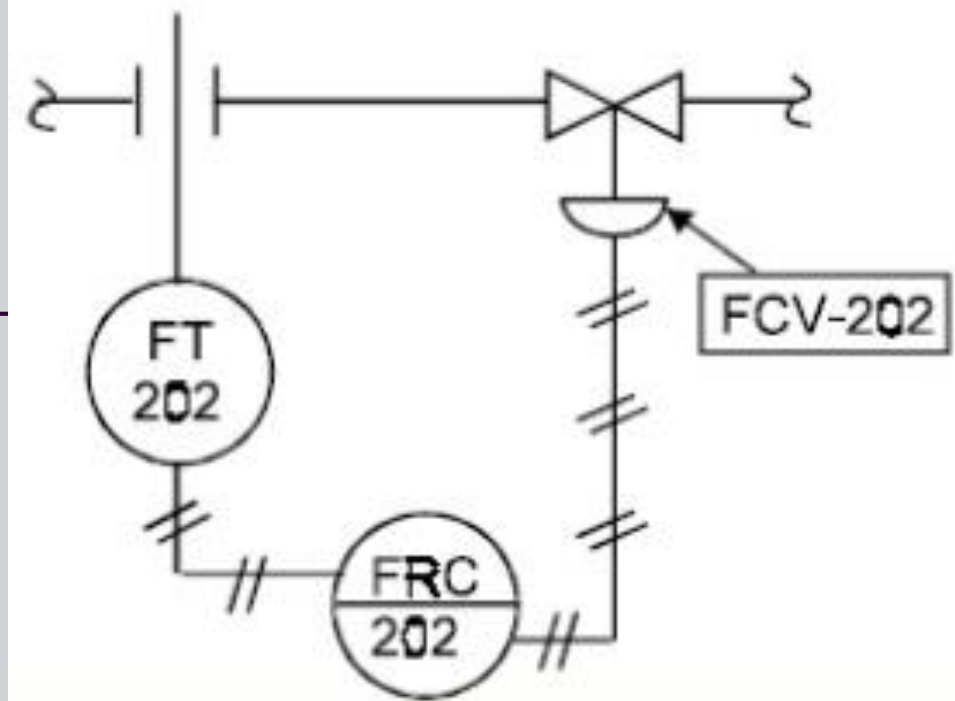
Exemplo 1

□ O que é?



Exemplo 1

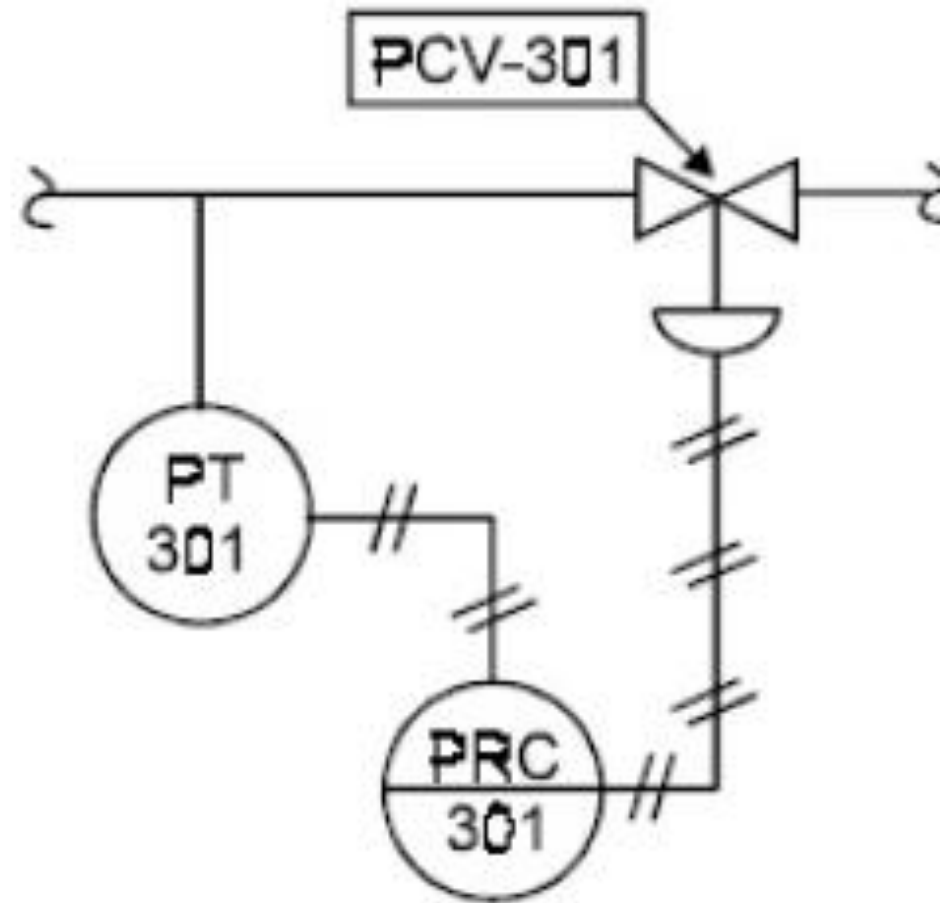
- ❑ Placa de orifício para medir a vazão.



- ❑ Transmissor no campo (FT) conectado a um controlador e registrador (FRC) através de comando pneumático.
- ❑ O controlador (FRC) comanda, através de sinal pneumático, uma válvula com atuador pneumático de diafragma (FCV).

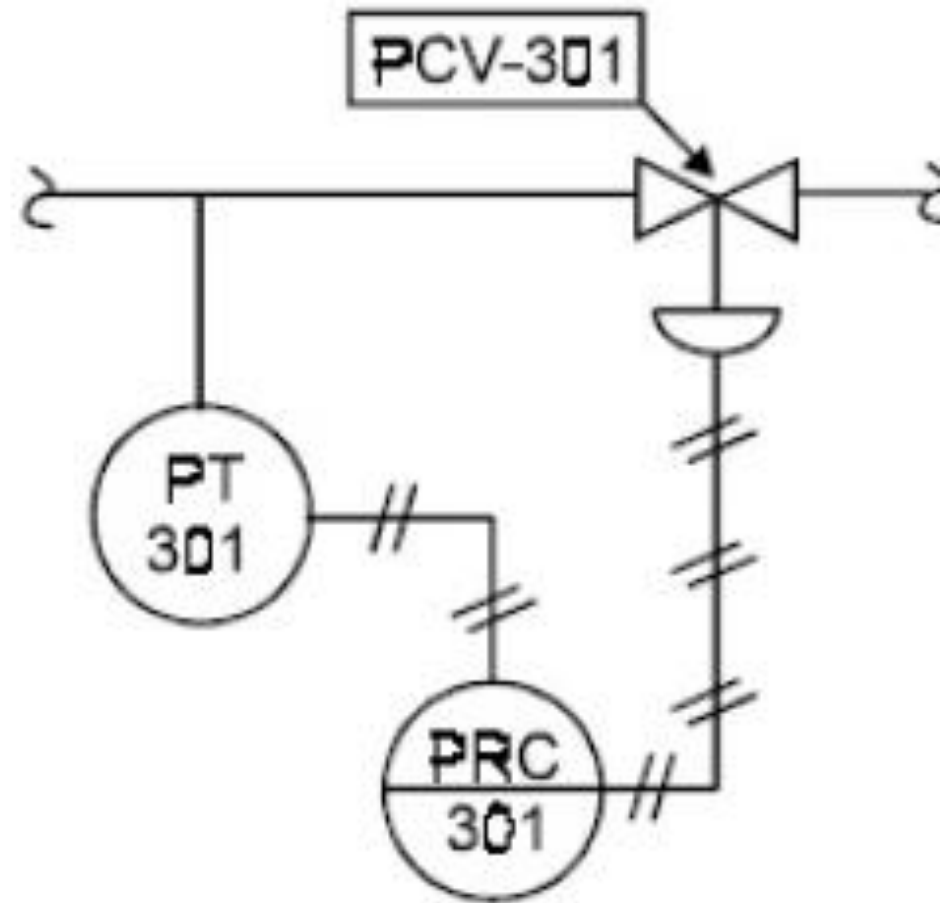
Exemplo 2

□ O que é?



Exemplo 2

- Válvula de controle de
- Transmissor de pressão (PT) por meio pneumático para um Registrador-Controlador de Pressão (PRC).



Este, por sua vez, comanda uma válvula de controle (PCV) com transmissão pneumática.

[5] – Processos Contínuos



USP

UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO



EPUSP

PRO 3252 Automação e Controle

Mauro de Mesquita Spinola
Marcelo Schneck de Paula Pessoa
EPUSP-PRO