

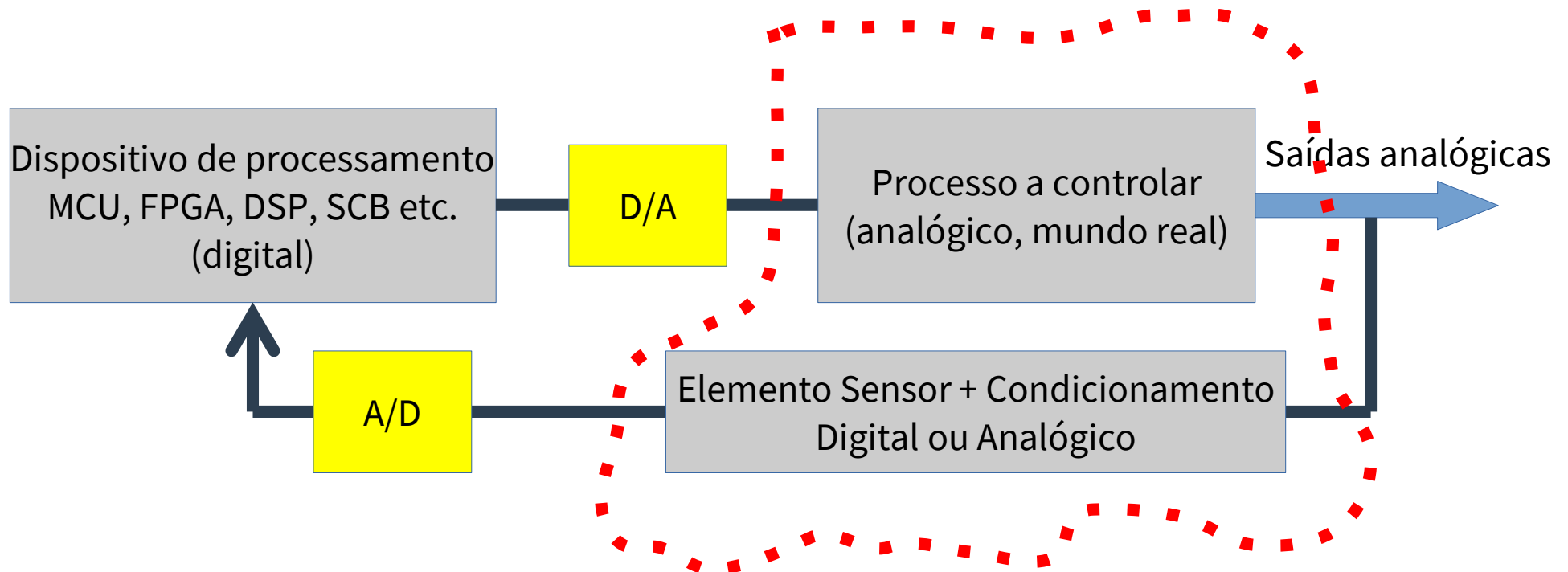
The background of the slide is a dark blue-grey color. Overlaid on this background is a complex, abstract network of thin, light-grey lines connecting numerous small, dark-grey circular nodes. The nodes and lines are distributed across the entire frame, creating a sense of a global or interconnected system. The main title is centered in the upper half of the image.

# SISTEMAS EMBARCADOS *PROGRAMAÇÃO PARALELA E TEMPO REAL*

Prof. Josenalde Oliveira

TADS UFRN

# Aquisição de Dados em Sistemas Embarcados

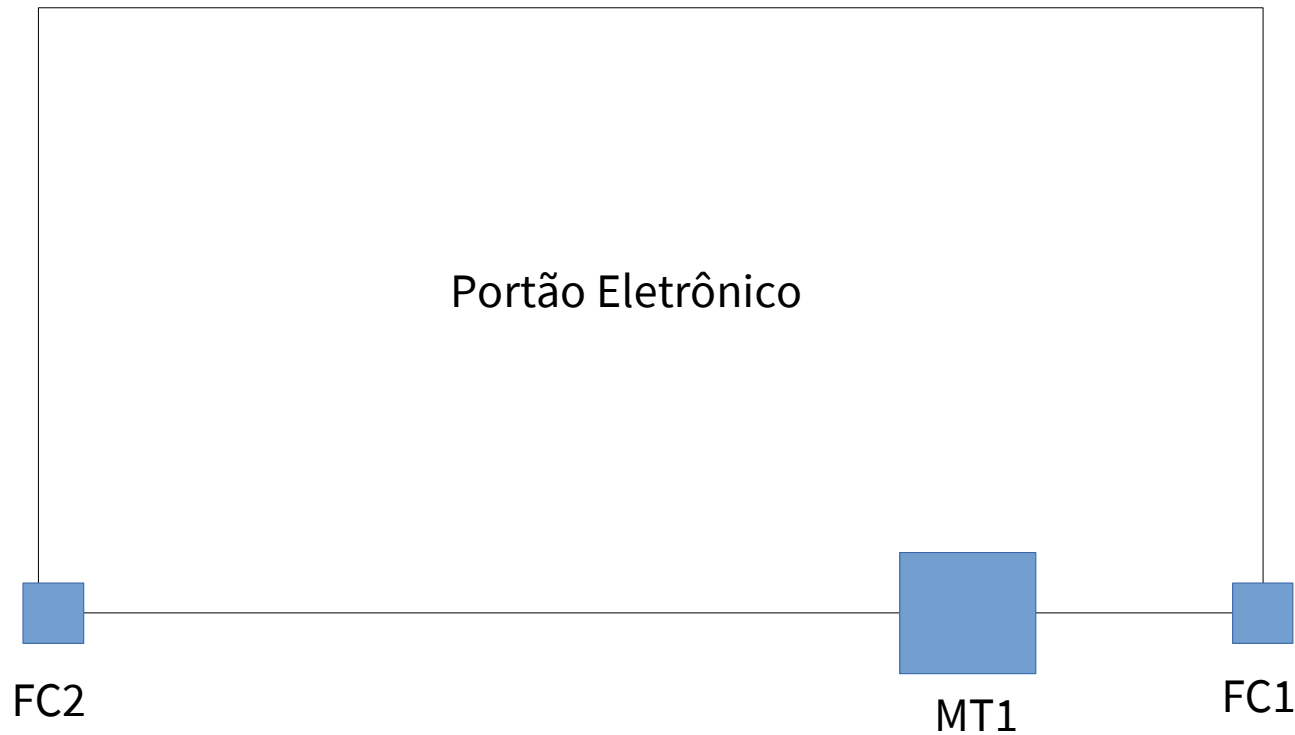


**Conversor Analógico-Digital: representar grandeza analógica por número associado para manipulação digital**

**Conversão Digital-Analógico: PWM é uma possibilidade, mas existem placas com tensão DC equivalente em faixas: -10V :10V (ESP32 – 3,3V)**

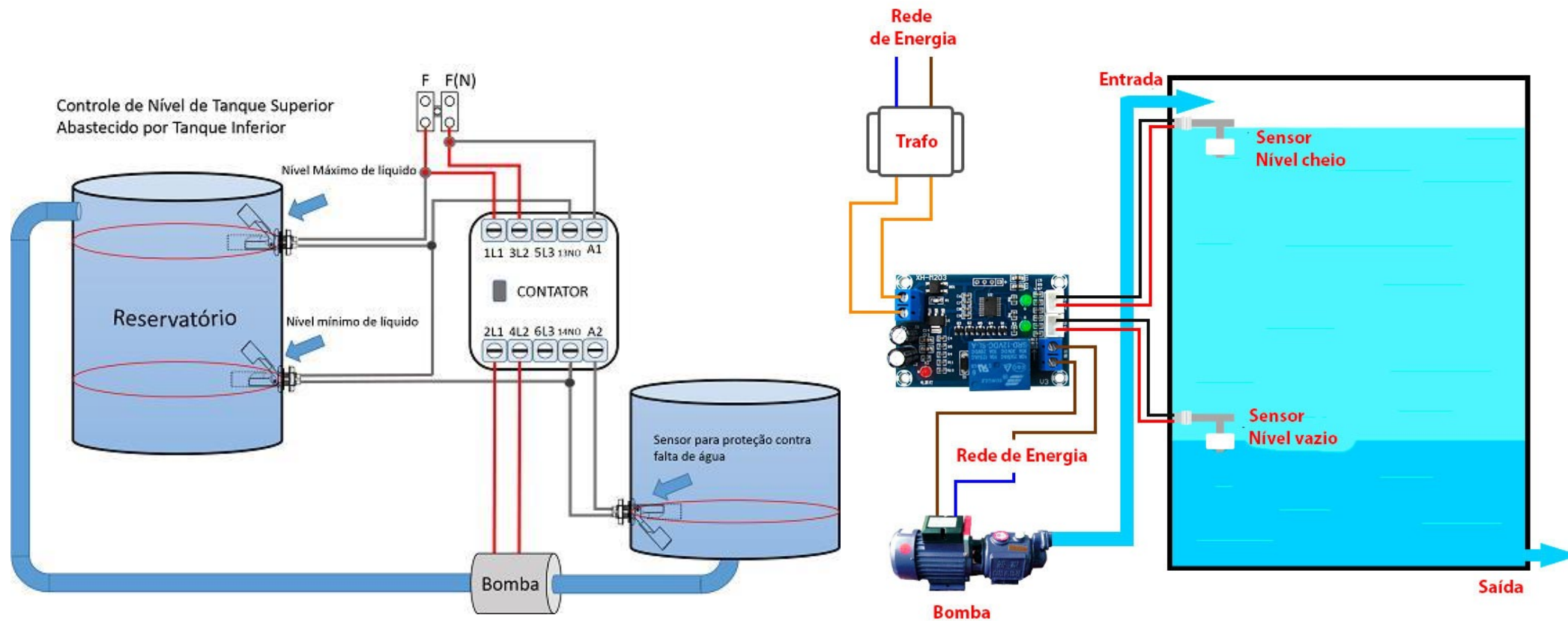
# Aquisição de Dados em Sistemas Embarcados

## Exemplo : Entradas e Saídas Digitais



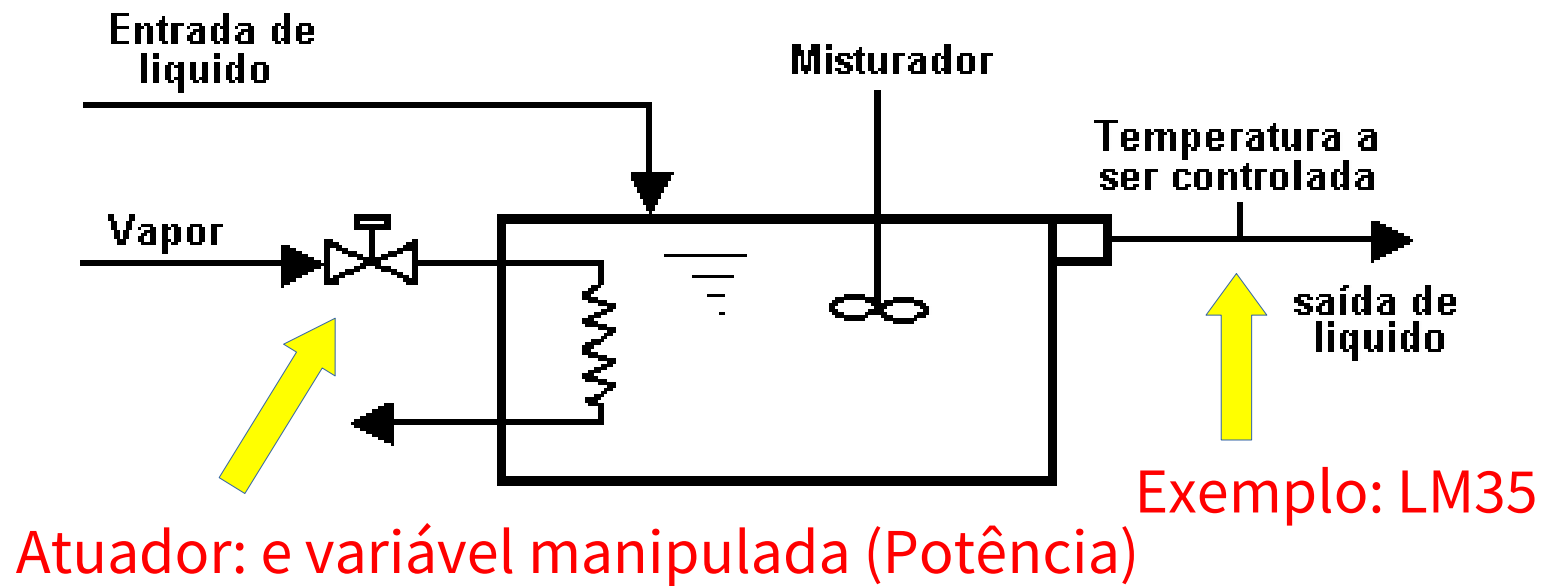
# Aquisição de Dados em Sistemas Embarcados

## Exemplo : Entradas e Saídas Digitais: Controle de Nível



# Aquisição de Dados em Sistemas Embarcados

**Exemplo : E se além de ligar/desligar, controlar nível, desejar também  
Controlar temperatura do líquido no tanque?**



**Normalmente sensores e atuadores com variáveis analógicas: válvula  
4 a 20 mA, sensor de nível e temperatura (0 – 10 V), resistência (0 - 10V)**

[http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA\\_TUAI/teoria-controle](http://www.ebah.com.br/content/ABAAAA_TUAI/teoria-controle)

# Aquisição de Dados em Sistemas Embarcados

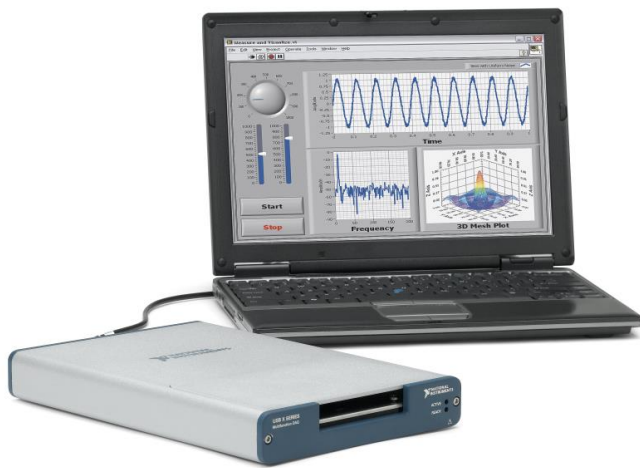
**Variáveis analógicas comuns: nível, temperatura, pressão, posição, luminosidade, velocidade, pH, EC, distância, massa, ...**

**Para cada variável, tipos de sensores diferentes (magnéticos, capacitivos, Indutivos, resistivos...), com faixas de leituras diferentes, precisão, tipo de saída, Faixa de alimentação, linearidade, frequência de operação tempo de resposta**

**TRANSDUTOR:** dispositivo que trabalha junto com o sensor e converte/transforma/adequa o valor lido para compatibilidade com a unidade de Processamento e ou meio de transmissão: ex:  $1\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

# Aquisição de Dados em Sistemas Embarcados

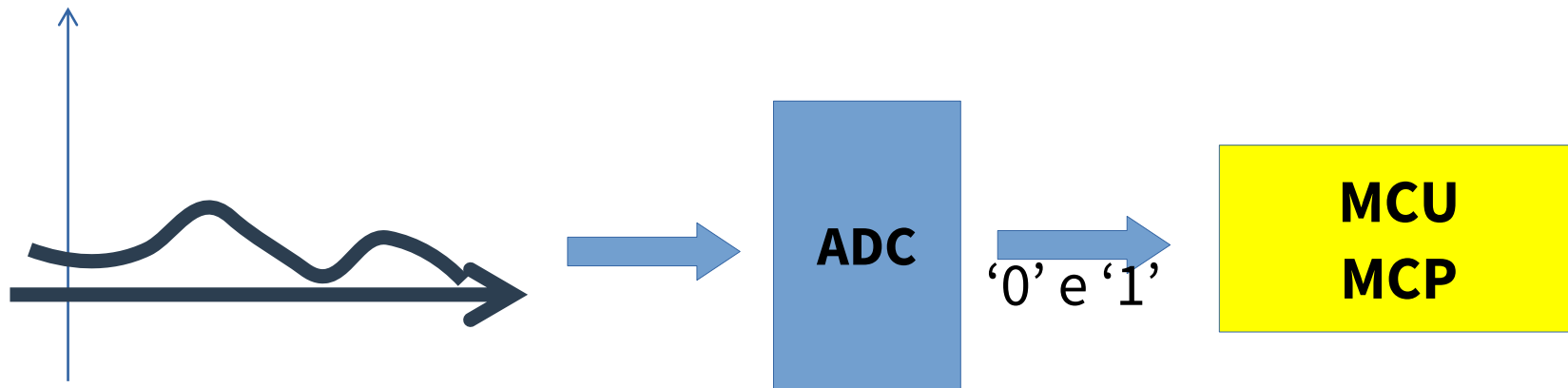
**Comercialmente existem placas de aquisição e envio de dados (AD-DA):  
National Instruments, Advantech etc.**



**16 Canais Analógicos de Entrada, 2MSamples/s = 2MHz, 16 bits resolução, 24 entradas digitais bi-dir  
02 canais analógicos de saída (-10, 10V), 04 temporizadores/contadores**

# Soluções low-cost para AD e processo AD

- ATmega328 (06 canais no Arduino UNO: A0-A5): AD de 10 bits de resolução
- ATmega2560 (16 canais no Arduino Mega), mesma resolução
- ESP32 (até 18 canais – ADC1, ADC2) – AD padrão de 12 bits (0-4095) para ler de 0 a +3,3VDC - [analogRead](#)

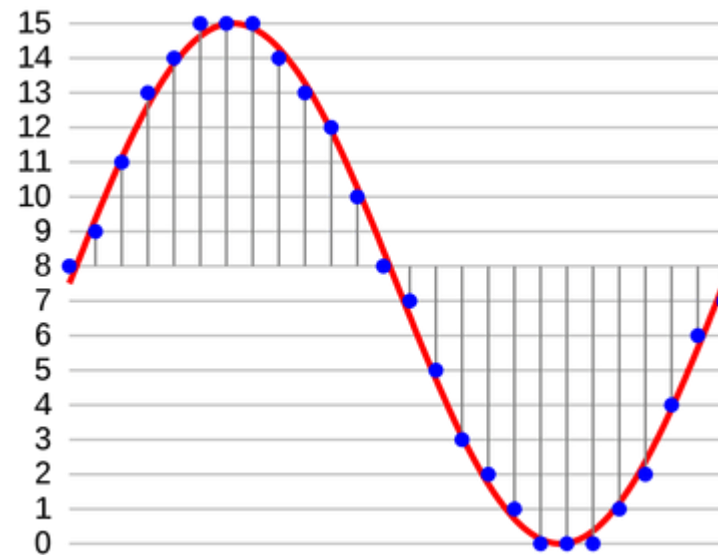


*Existem várias técnicas de ADC: rampa, **aproximações sucessivas**, flash, sigma-delta etc.*

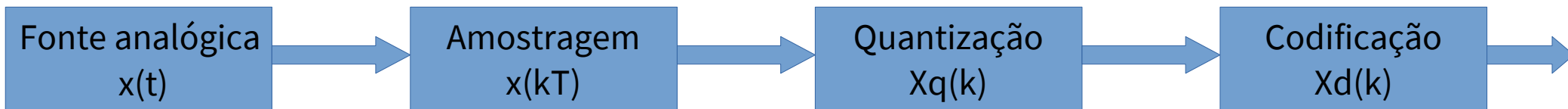


# Soluções low-cost para AD

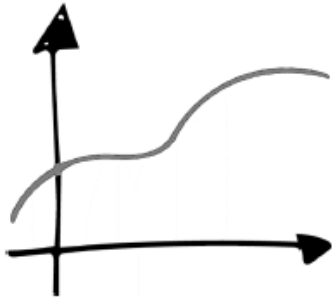
- ADC converte sinal analógico no tempo ( $x(t)$ ) em sinal amostrado no tempo  $x(kT)$ , onde  $T$  é o tempo de amostragem. Estes valores são quantizados em conjuntos de valores inteiros e depois codificados em valores digitais.



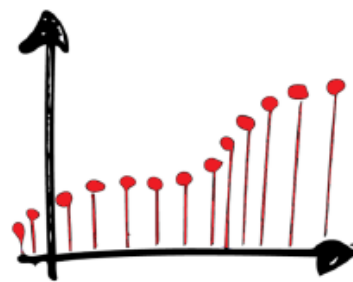
# Soluções low-cost para AD



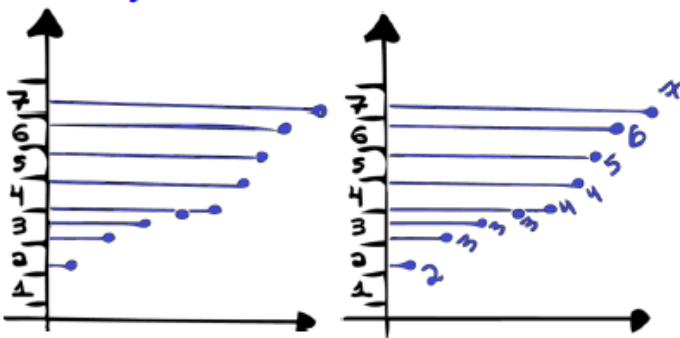
sinal analógico



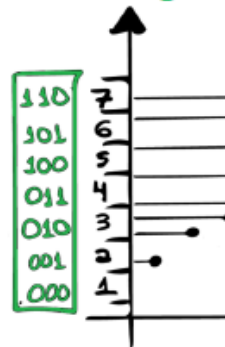
amostrado no tempo



quantizado dentro de um conjunto de valores inteiros



codificados em valores digitais

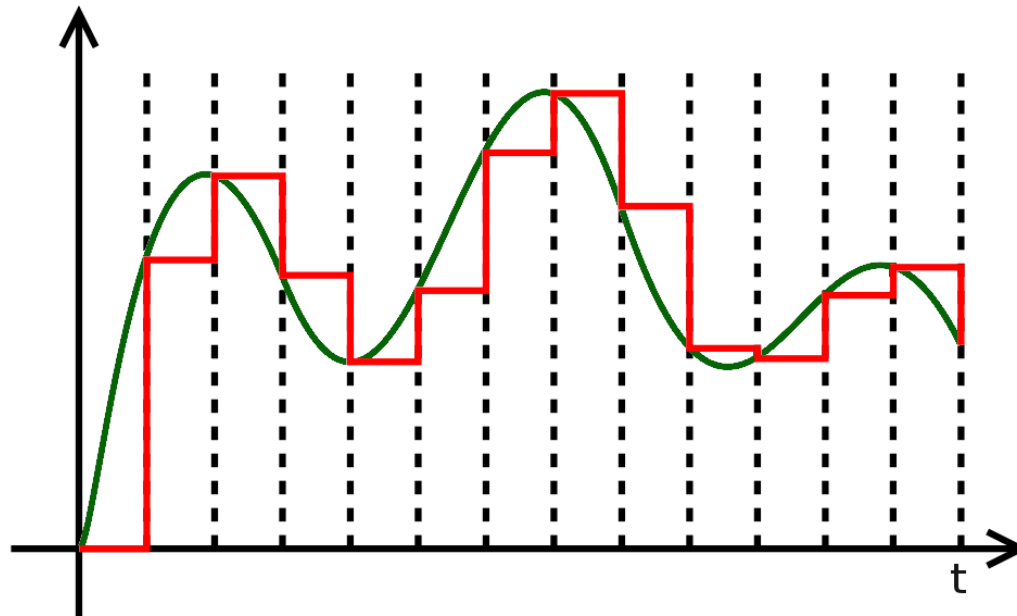


No ESP32: 12 bits  
 $Q = 2^{12} = 4096$  níveis  
Cada nível:  $VCC/1024$ : 4,88mV

Fonte: Slides DCA0119:  
Sistemas Digitais. Prof. Heitor  
Medeiros Florencio

# Soluções low-cost para AD

- A amostragem utiliza técnica de sample-and-hold



# Soluções low-cost para AD

Exemplo de código para medir tempo de conversão no ESP32

```
void setup() {  
    analogReadResolution(12);  
}  
  
unsigned long st, en;  
uint32_t res;  
void loop() {  
    st = micros();  
    res = analogRead(INPUT_PIN);  
    en = micros();  
    Serial.printf("Sample time: %ld, value: %zu", en - st, res);  
    Serial.println("");  
}
```

<https://www.youtube.com/watch?v=VNIGBMyP7SE>

# Sistemas de Controle Automático

**O objetivo de um sistema de controle consiste em aplicar sinais adequados na entrada de controle a fim de fazer com que o sinal de saída apresente um comportamento pré-especificado, e que o efeito da ação das perturbações sobre este comportamento seja minimizado ou mesmo Completamente eliminado.**

## **Conceitos:**

**PROCESSO ou PLANTA: sistema a ser controlado**

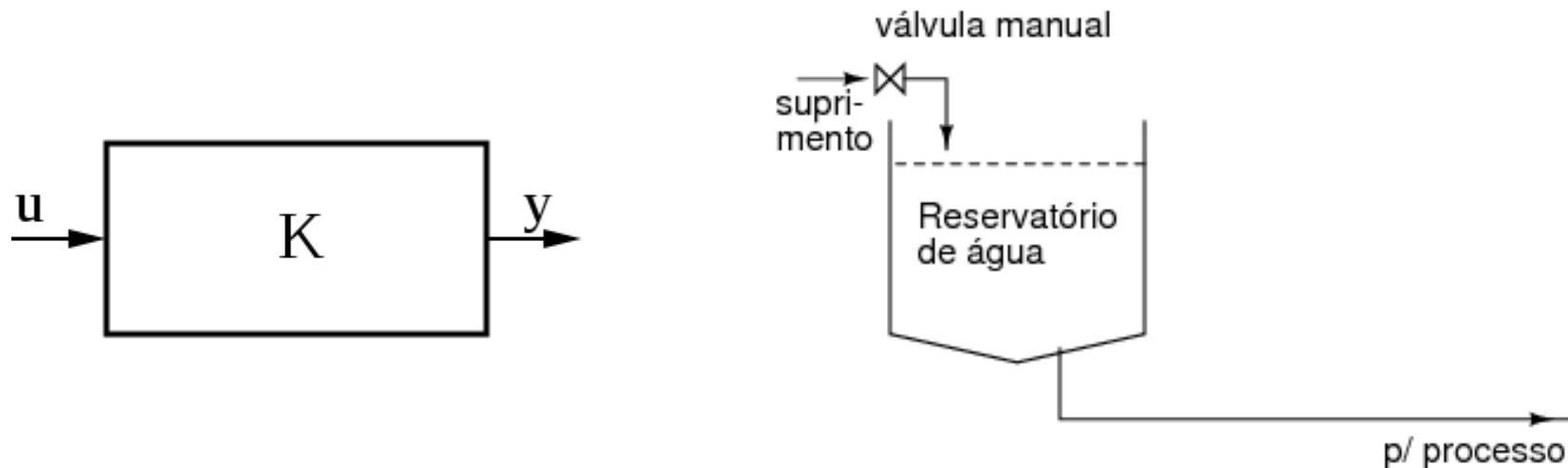
**SINAL DE CONTROLE ou VARIÁVEL MANIPULADA (MV): sinal a ser aplicado na entrada da PLANTA**

**VARIÁVEL CONTROLADA ou VARIÁVEL DE PROCESSO (PV): saída do processo o que se deseja controlar**

# Sistemas de Controle Automático

## CONFIGURAÇÕES:

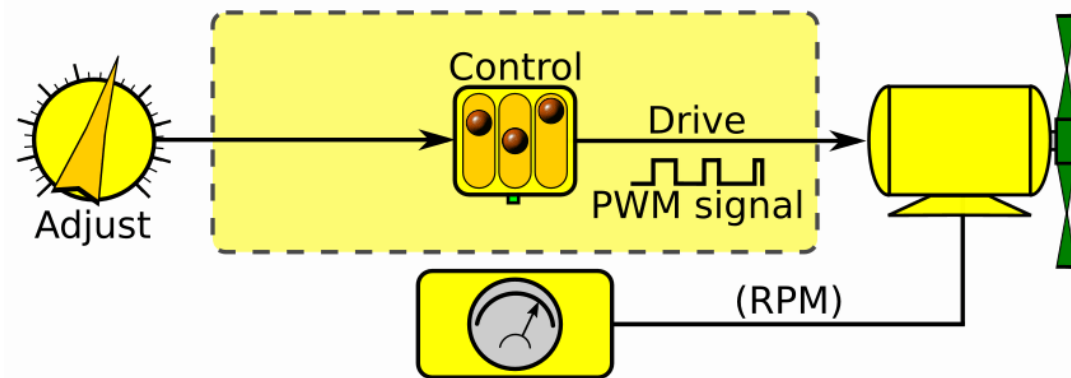
**MALHA ABERTA:** sinal de controle predeterminado, imprecisão, Não rejeita perturbações externas, não necessita sensores, pois não há uso de feedback, mais barato e simples (ex: micro-ondas, máquina de lavar Cafeteira etc.)



# Sistemas de Controle Automático

## CONFIGURAÇÕES:

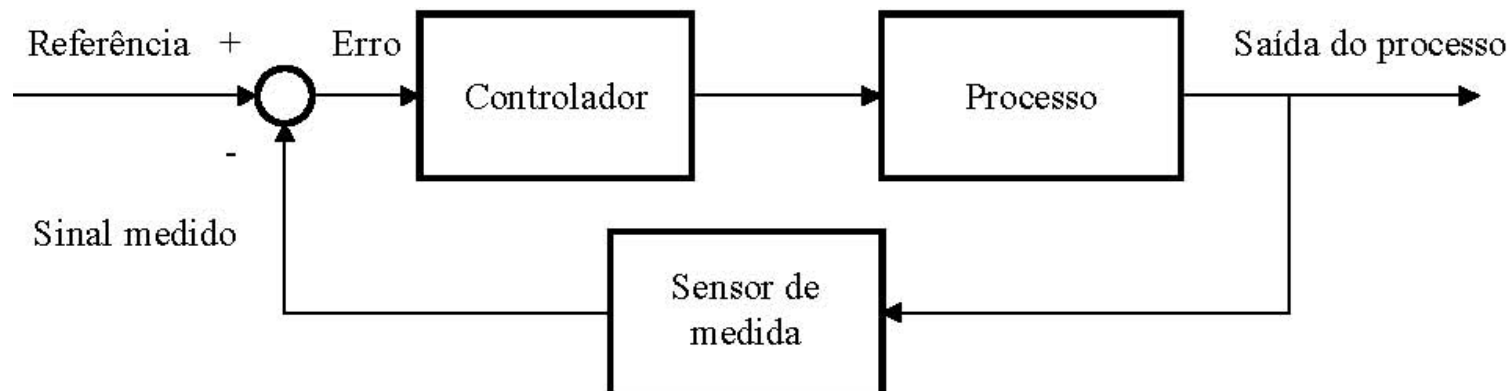
**MALHA ABERTA:** sinal de controle predeterminado, imprecisão, Não rejeita perturbações externas, não necessita sensores, pois não há uso de feedback, mais barato e simples (ex: micro-ondas, máquina de lava Cafeteira etc.)



# Sistemas de Controle Automático

## CONFIGURAÇÕES:

**MALHA FECHADA:** informações sobre como a saída (medida) do processo está evoluindo são utilizadas para determinar o sinal de controle a cada instante de tempo. Este processo de usar a saída para corrigir a entrada Comparando com o set point é chamado realimentação. Em geral o sinal De controle é de baixa corrente, sendo necessário elemento atuador, como Válvulas proporcionais, resistências, drivers de motores etc.

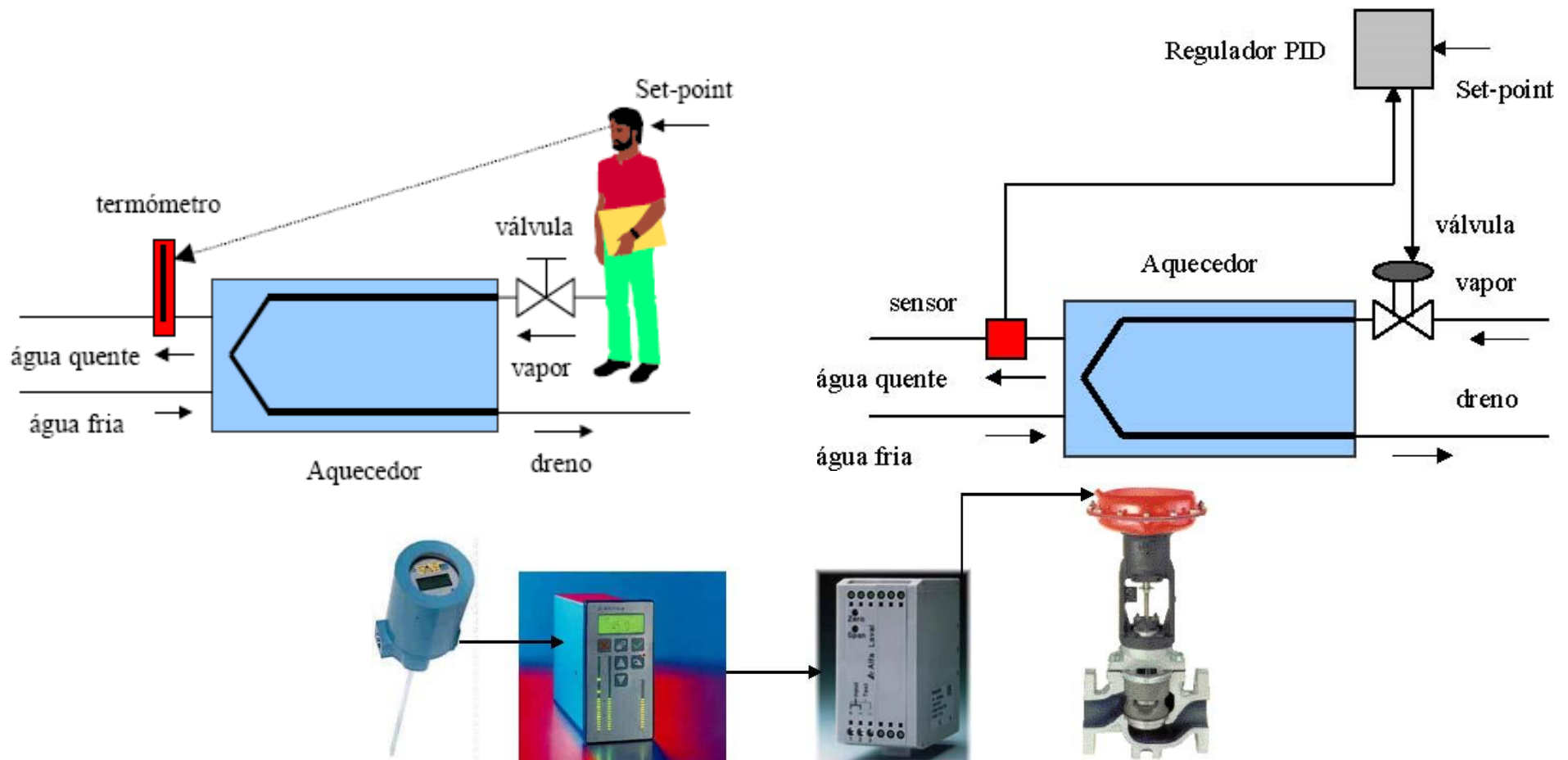




# Sistemas de Controle Automático

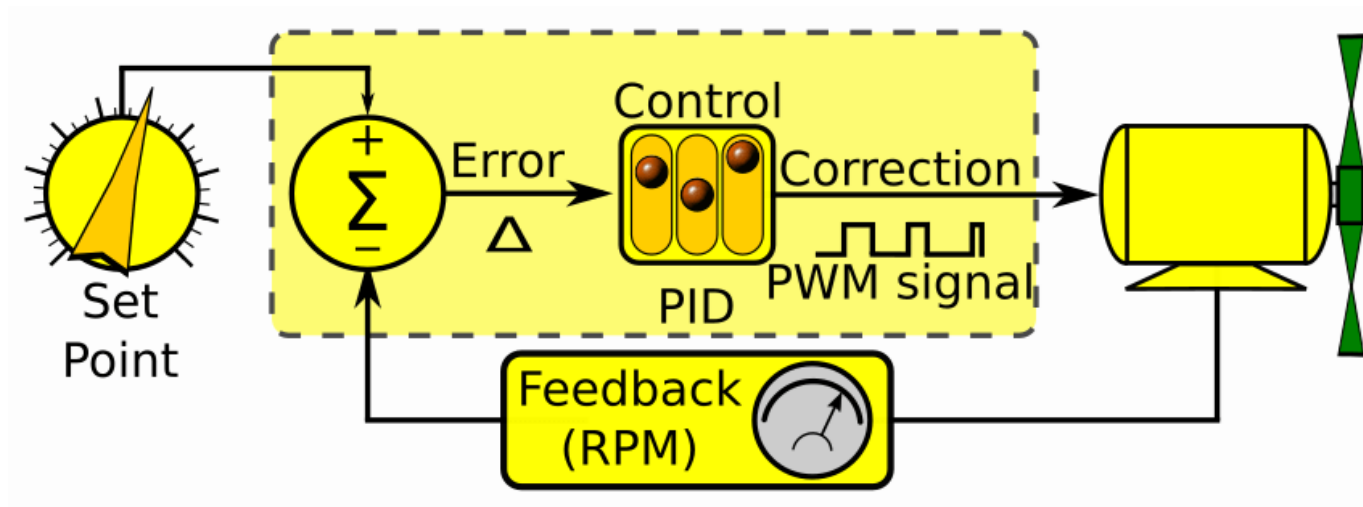
Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAenKIAE/sistemas-controle>

## EXEMPLO EM MALHA FECHADA:



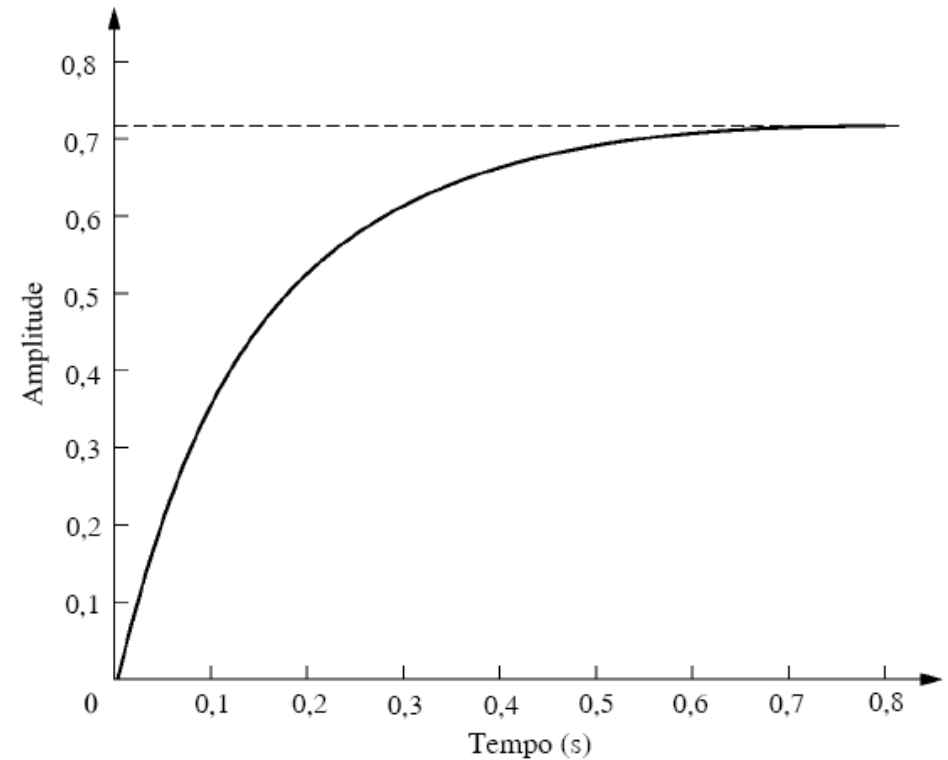
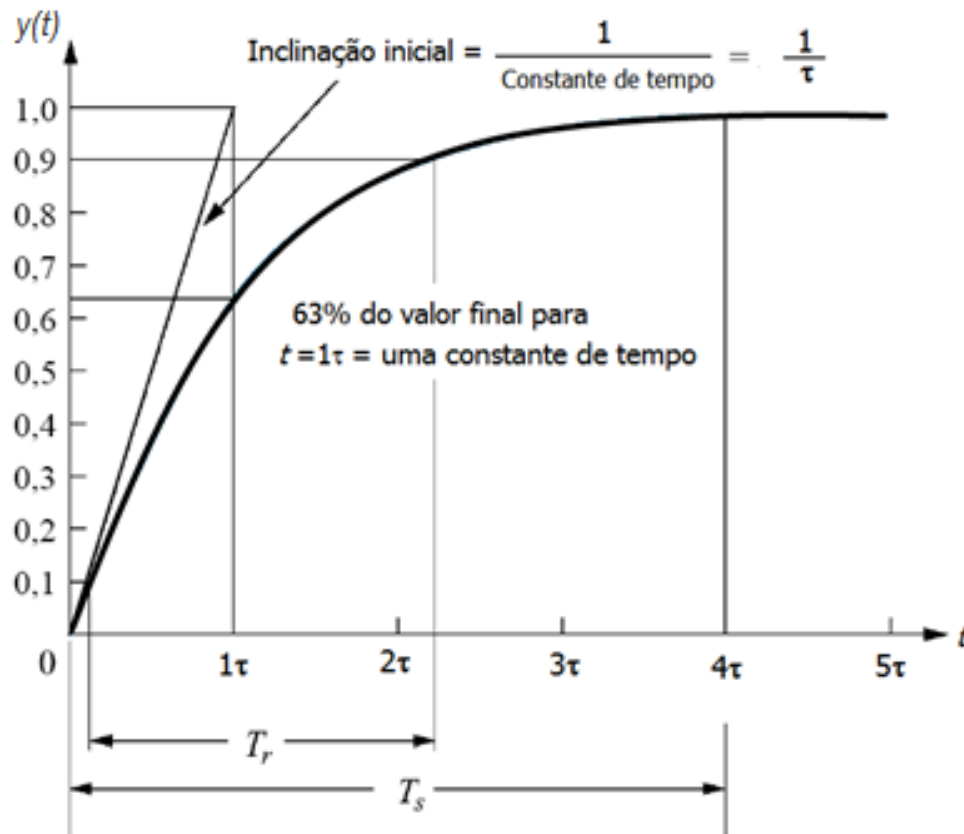
# Sistemas de Controle Automático

**OBS sobre comparação SETPOINT, FEEDBACK: os valores devem estar na mesma unidade. Exemplo: num controle de velocidade de um motor Elétrico , o sensor tacômetro possui ganho (relação) de 10 mV/rpm. No display (frontend) do controlador, o usuário iria definir setpoint de 1500 rpm, mas internamente o valor do sensor (em volts) será comparado Com **1500 rpm x fator, ou seja,  $1500 \times 10 \text{ mV/rpm} = 15\text{V}$** .**



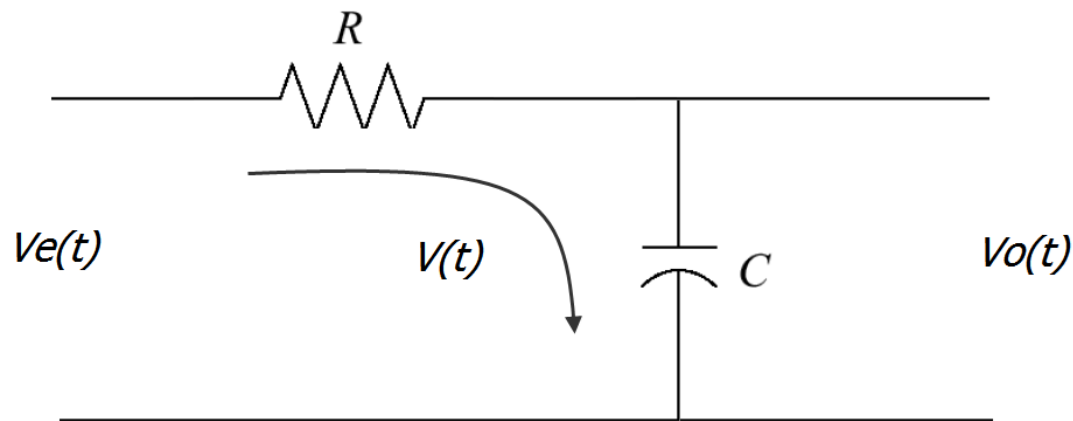
# Sistemas de Controle Automático

## Respostas típicas de sistema: ordem 1 (térmico, nível ...)



# Sistemas de Controle Automático

## Respostas típicas de sistema: ordem 1 (térmico, nível ...)



Carga  $V(t) = E(1 - e^{-t/RC})$

Descarga  $V(t) = Ee^{-t/RC}$

$t$	$E$
$\tau$	63,2%
$2\tau$	86,5%
$3\tau$	95%
$4\tau$	98,2%
$5\tau$	~100%

*Tabela 1: carga sobre o capacitor para tempos múltiplos da constante de tempo*

**$V_o/V_e = 1/RCs + 1$  ou  $(1/RC) / (s + 1/RC)$**

Função de Transferência: representa a relação Saída/Entrada de um Sistema  
Permite obter resposta em malha aberta e ajustar controlador

# Sistemas de Controle Automático

**Simular o Sistema de Ordem 1 RC:  $1/s + 1$ , com  $R = 10K$  e  $C = 100\mu F$**

**Existem inúmeras técnicas/algoritmos/regras para sintonia de parâmetros PID**

**ZIEGLER NICHOLS**

**RESPOSTA AO DEGRAU**

**GANHO CRÍTICO**

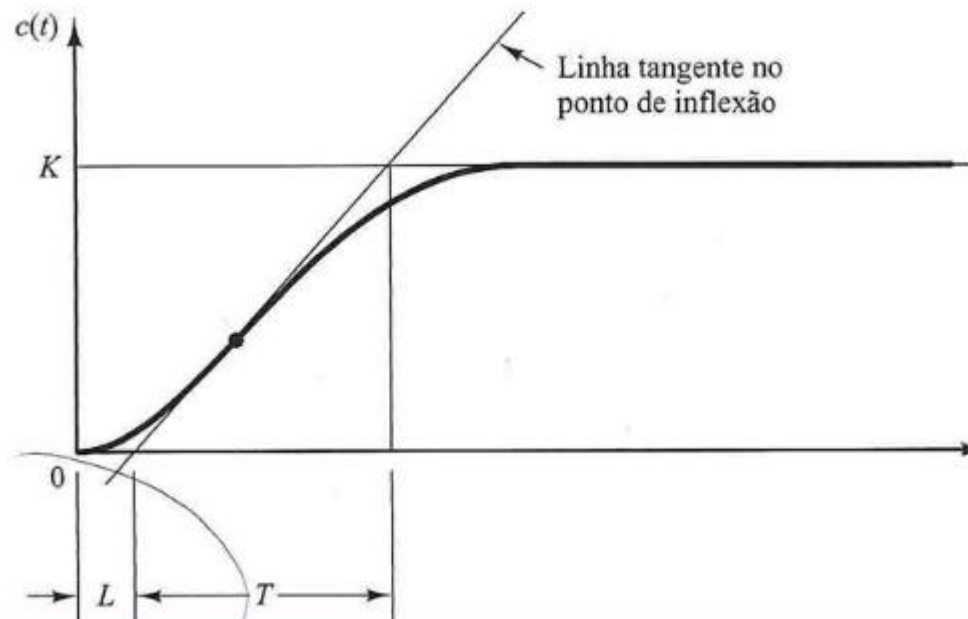
**FERRAMENTAS DE AUTO TUNING (pidtune, MATLAB)**

**Etc.**

**PID Tuner para sintonia**

# Sistemas de Controle Automático

## Método da resposta ao degrau



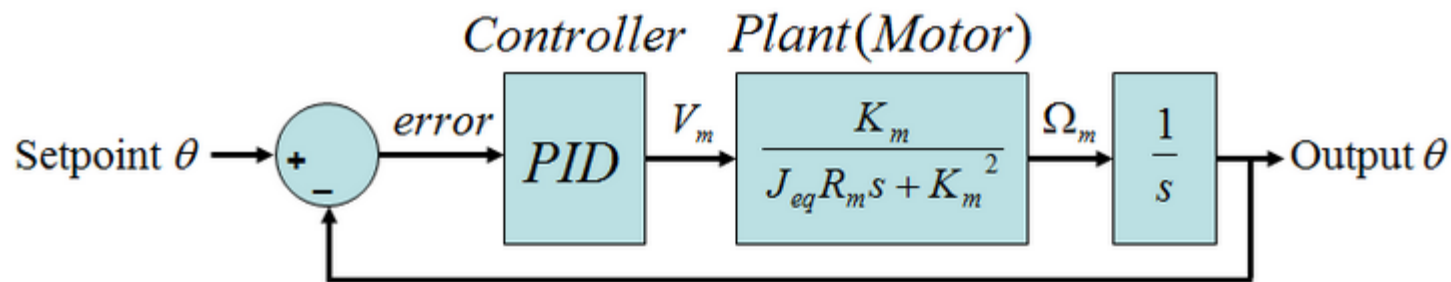
$$G(s) = K / (Ts + 1) * e^{-Ls}$$

□ Proposta de Ziegler-Nichols

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

# Sistemas de Controle Automático

## Modelo físico de motor DC – parâmetros físicos



Onde:

$V_m$  – Tensão aplicada (V)

$\Omega_m$  = Velocidade angular (rad/s) (converter para RPM)

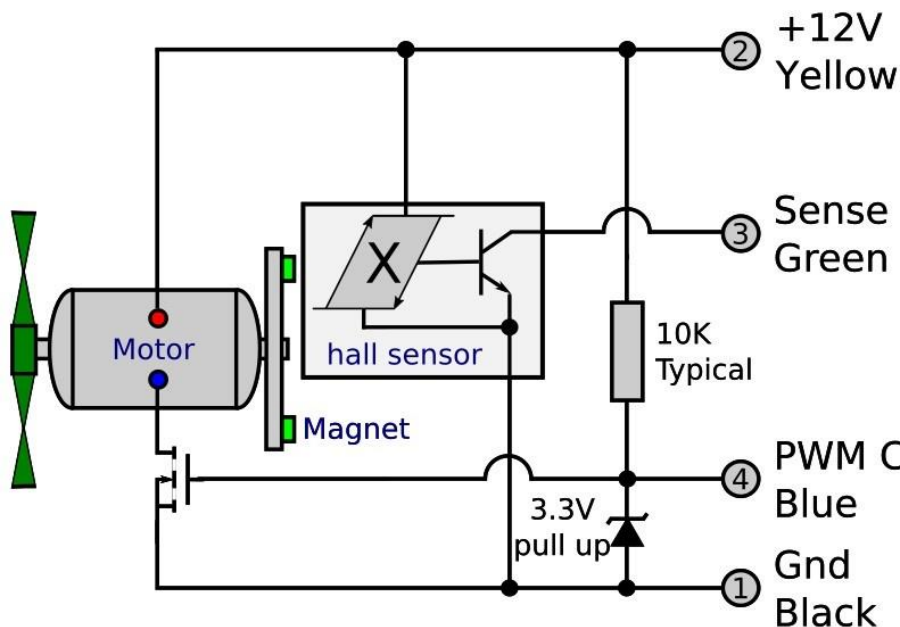
$K_m$  – constante do motor (V/rad/s)

$J_{eq} = J_m$  – momento de inércia da armadura ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

$R_m$  – resistencia da armadura do motor (ohms)

# Sistemas de Controle Automático

## Circuito para medir velocidade de ventoinha de PC (DC motor)

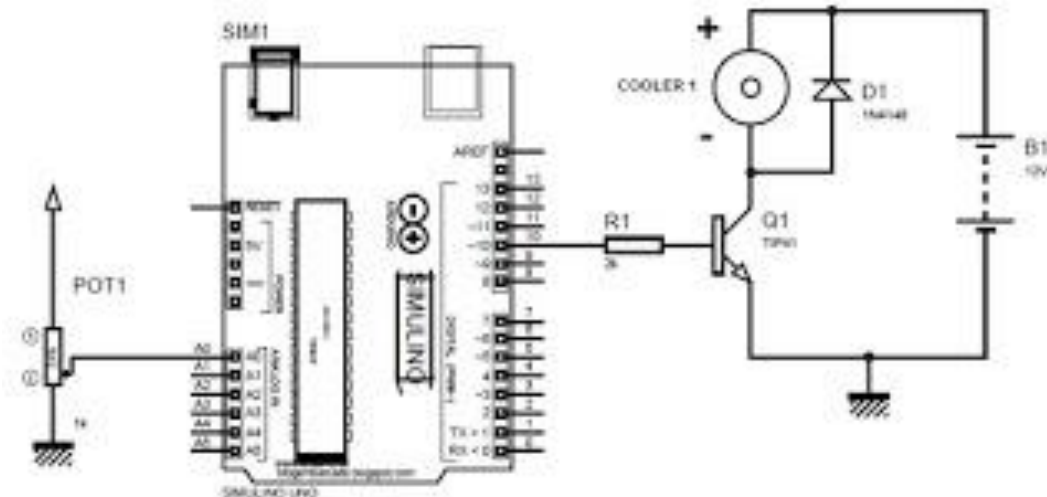
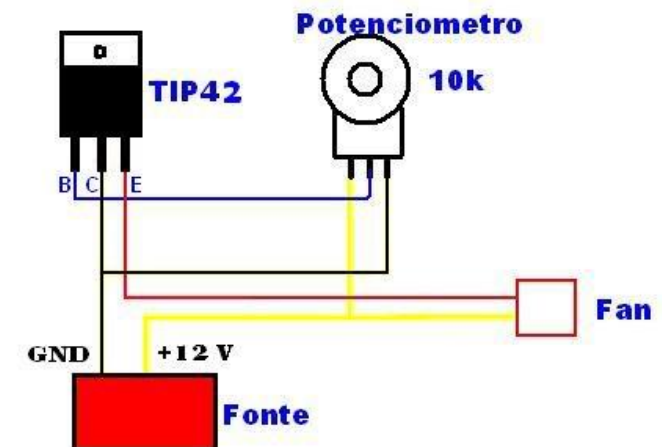
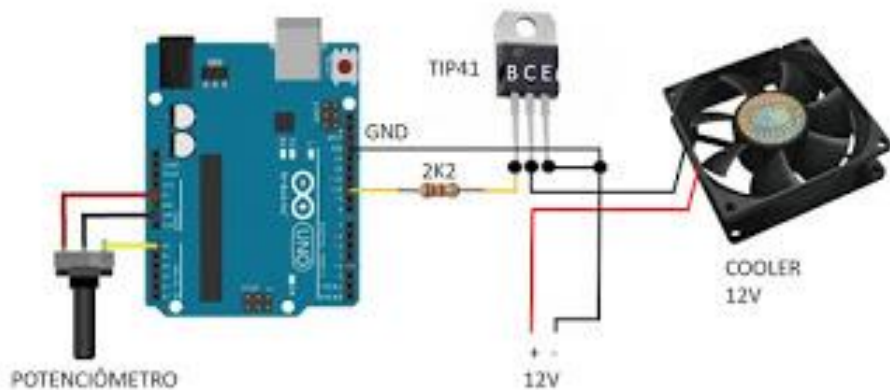
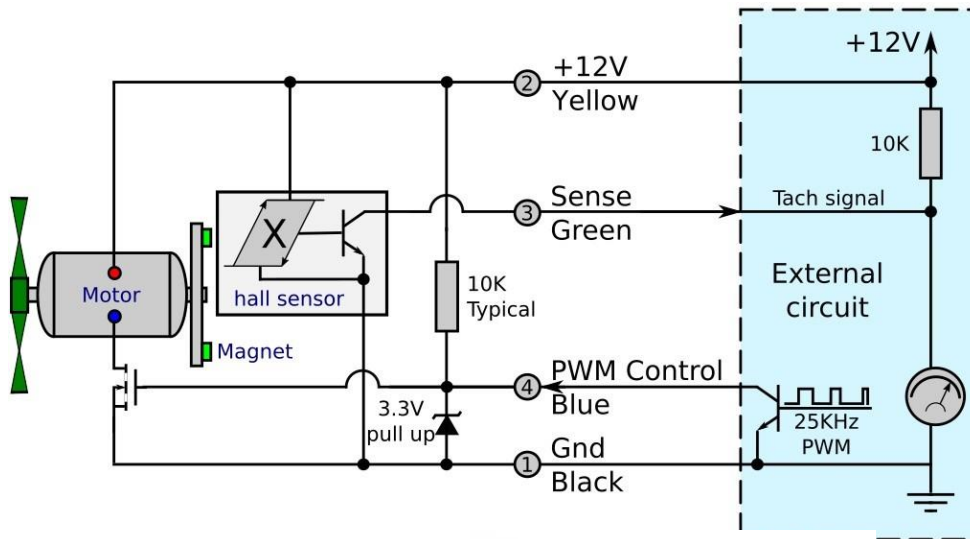


- Verificar sinal do sensor no osciloscópio
- Se usar Ventoinha de +12V, sinal do Sensor deve ser reduzido para +5V, com Regulador 7805, por exemplo.
- escrever código para medir velocidade
- aplicar sinal na entrada e registrar Evolução da saída para gerar gráfico
- obter função de transferência
- projetar PID
- definir setpoint e efetuar controle de velocidade



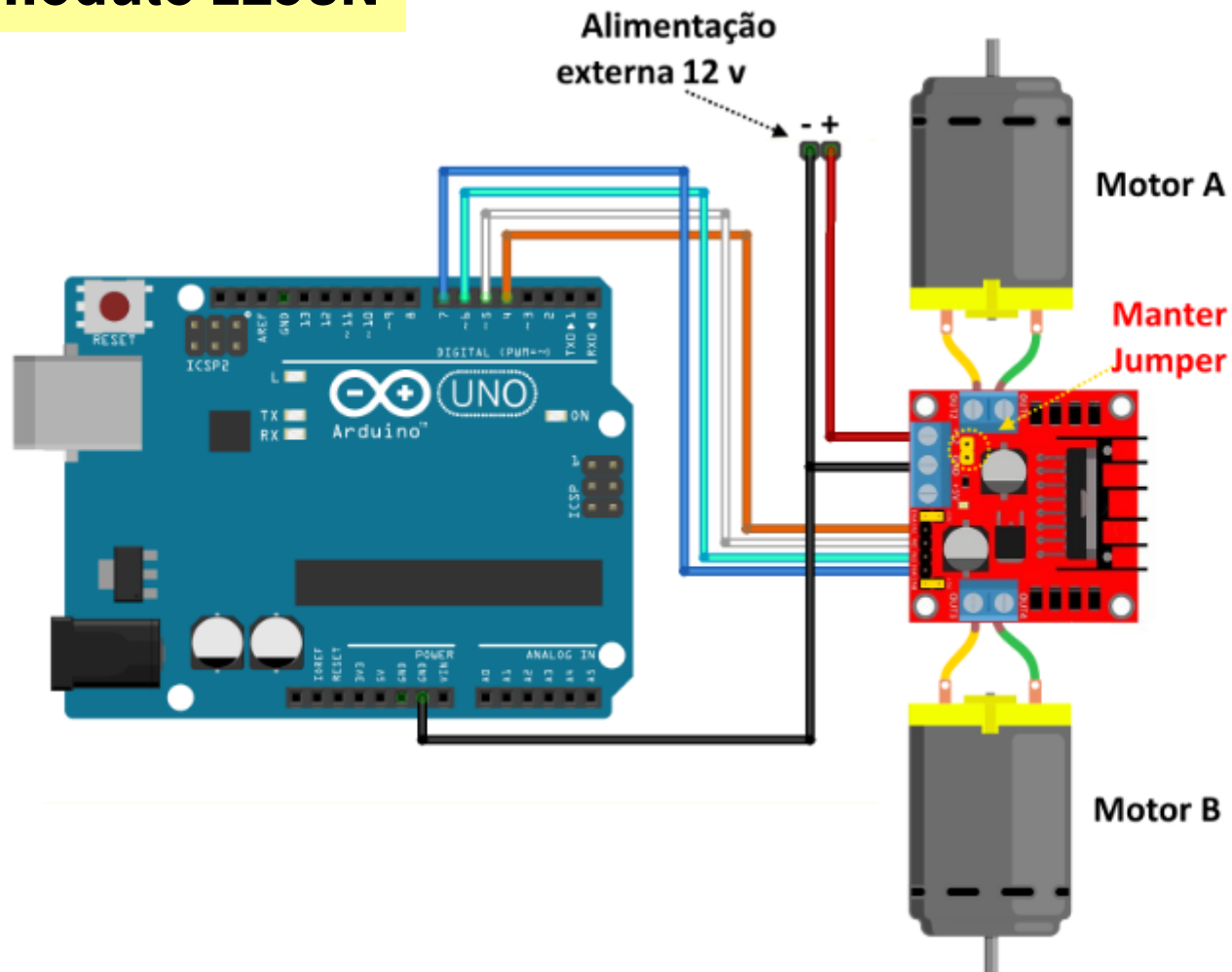
# Sistemas de Controle Automático

## Circuito para medir velocidade de ventoinha de PC (DC motor)



# Sistemas de Controle Automático

## Usando o módulo L298N



# Sistemas de Controle Automático

## Usando o módulo L298N

No caso de ventoinha 12VDC, não ligar fio ao 5v do módulo, ligar a fonte DC de bancada com 12V ao pino 6-35v e respectivo GND, o qual também deve ser ligado ao GND do microcontrolador. Manter jumper ATIVA MA.

O pino IN1 deve ser ligado ao pino PWM do microcontrolador e IN2 pode estar no GND, para girar sentido horário.

