



Automação Industrial

Projeto de Sensoreamento e Instrumentação por controle PID – Parte I

Prof^o Eng^o Hermom Leal, Msc.

Versão 1 – Setembro/2019





Controladores PID – Proporcional-Integral- Derivativo

HERMOM LEAL MOREIRA

• Sumário

- 1. Sistemas de Controle;
- 2. Sinais de Teste;
- 3. Estabilidade; a
- 4. Sistemas de 1ª Ordem;
- 5. Controladores de duas posições ou on-off
- 6. Controladores PID;
- 7. Controladores Proporcionais;
- 8. Controladores Integrais;
- 9. Controladores Proporcional-Integrais;
- 10. Controladores Proporcional-Derivativos;
- 11. Controladores Proporcional-Integral-Derivativos;
- 12. Experimento de Controle
-

Referência: Engenharia de Controle Moderno – Quarta Edição – Editora Pearson
Prentice Hall – Autor: Katsuhiko OGATA

• Introdução

- **1. Sistema de controle**

- 1.1 Os sistemas de controle devem ser baseados em um modelo matemático;

- 1.2 Existem várias formas de analisar o desempenho do sistema a partir de vários métodos disponíveis;

- **1.1 Sinais de Entrada**

- 1.1.1 Estes sinais geralmente, não são conhecidos previamente

- **1.2 Análise e projeto de sistemas de controle**

- 1.2.1 É importante que haja uma base de comparação de desempenho de vários sistemas de controle
- 1.2.2. É importante detalhar os sinais de teste da entrada frente aos diversos tipos de sistemas de controle

•2. Sinais Típicos de Teste

• 2.1 Sinais de teste geralmente utilizados

- 1. Funções degrau;
- 2. Rampa;
- 3. Parábola de aceleração;
- 4. Impulso;
- 5. Senoidal;

• 2.2. Determinação dos sinais típicos de teste

- 2.2.1. Análise do comportamento da entrada que o sistema será submetido com maior frequência sob condições normais de operação.
- 2.2.2. Se são funções de tempo que variam gradualmente: rampa
- 2.2.3. Se o sistema está sujeito a variações bruscas na entrada: impulso

3. Estabilidade Absoluta de Um Sistema de Controle Linear,

- Invariante no Tempo

- **3.1 Comportamento dinâmico do sistema**

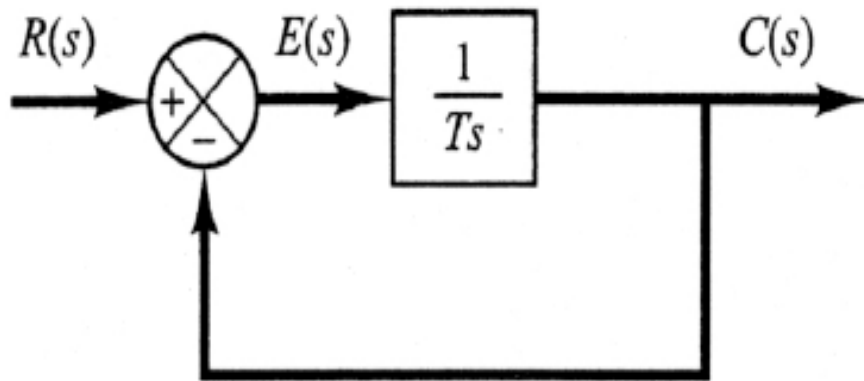
- A. Estabilidade Absoluta: O sistema é estável ou instável?
 - 3.1.1. O sistema está em **equilíbrio se, na ausência de qualquer distúrbio ou sinal de entrada, a saída permanece no mesmo estado;**
 - 3.1.2. O sistema é **estável se a saída sempre retorna ao estado de equilíbrio quando o sistema é submetido a uma condição inicial;**

3. Estabilidade Absoluta de Um Sistema de Controle Linear, Invariante no Tempo

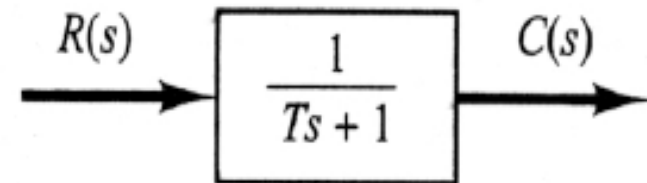
- 3.1.3 O sistema será **criticamente estável** se as oscilações do **sinal de saída se repetirem de maneira contínua**;
- 3.1.4. O sistema será **instável** se a **saída divergir sem limites a partir do estado de equilíbrio quando o sistema for sujeito a uma condição inicial**;
- Obs.: Nos casos reais, o sinal de saída de um sistema físico pode aumentar até certo valor, mas pode ser limitado por fins de curso mecânico, ou o sistema pode se romper, ou se tornar não linear, etc.

• 4. Sistemas de Primeira Ordem

- Definição: São sistemas diferenciais que envolvem apenas a primeira derivada da saída na sua equação.



Fisicamente, um circuito RC , um sistema térmico ou algo semelhante.



A relação entrada-saída é dada por:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{Ts + 1}$$

• 5. Ação de Controle de Duas Posições ou On-Off

o elemento atuante tem somente duas posições fixas

sinal de saída do controlador é $u(t)$

$$u(t) = U_1, \quad \text{para } e(t) > 0$$
$$= U_2, \quad \text{para } e(t) < 0$$

sinal de erro atuante é $e(t)$

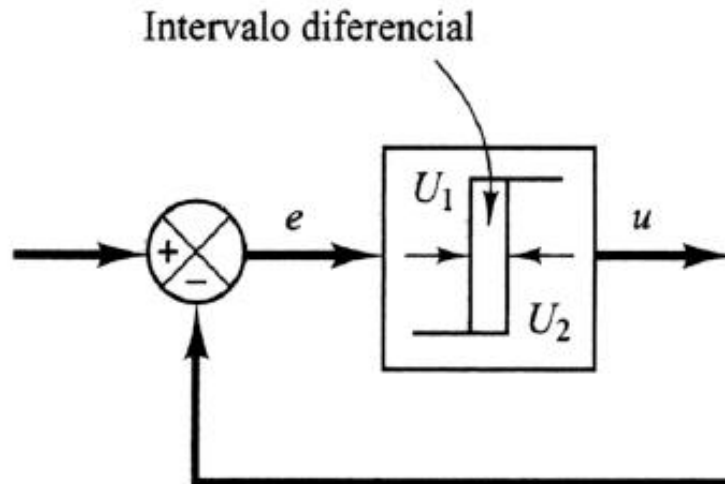
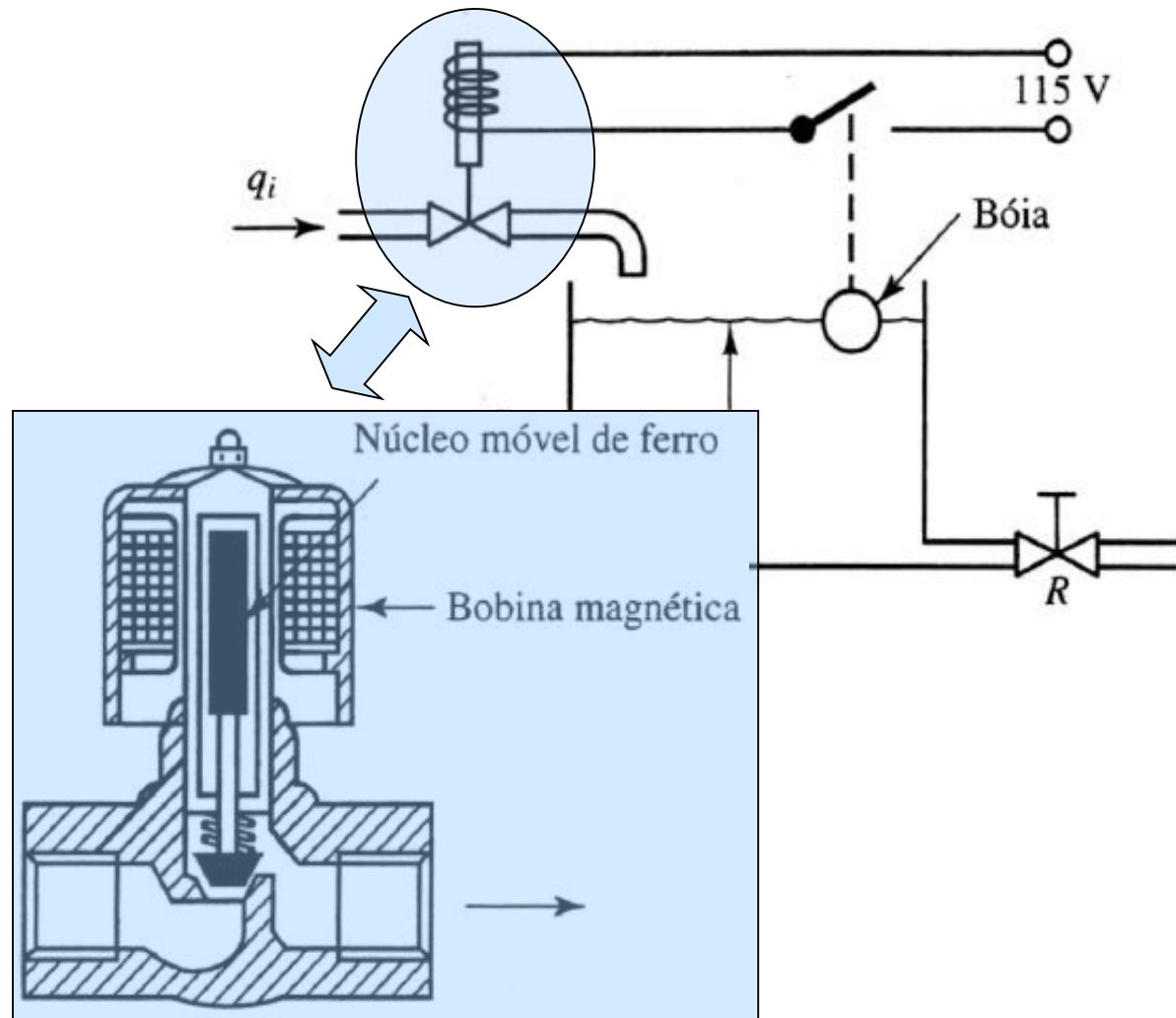


diagrama de blocos de
um controlador on-off
com intervalo diferencial

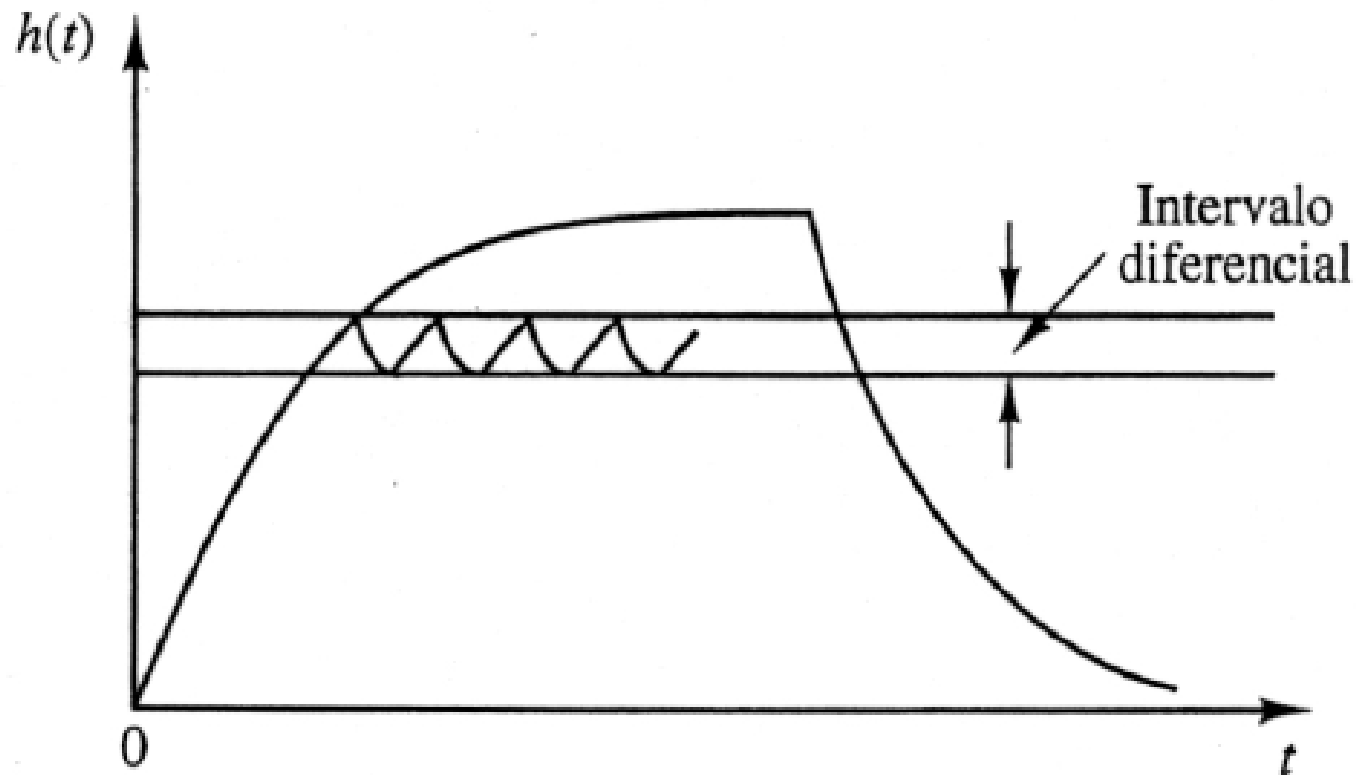
5.1 Sistema de Controle de

- Nível de Líquido (1)



5.1 Sistema de Controle de

- Nível de Líquido (2)

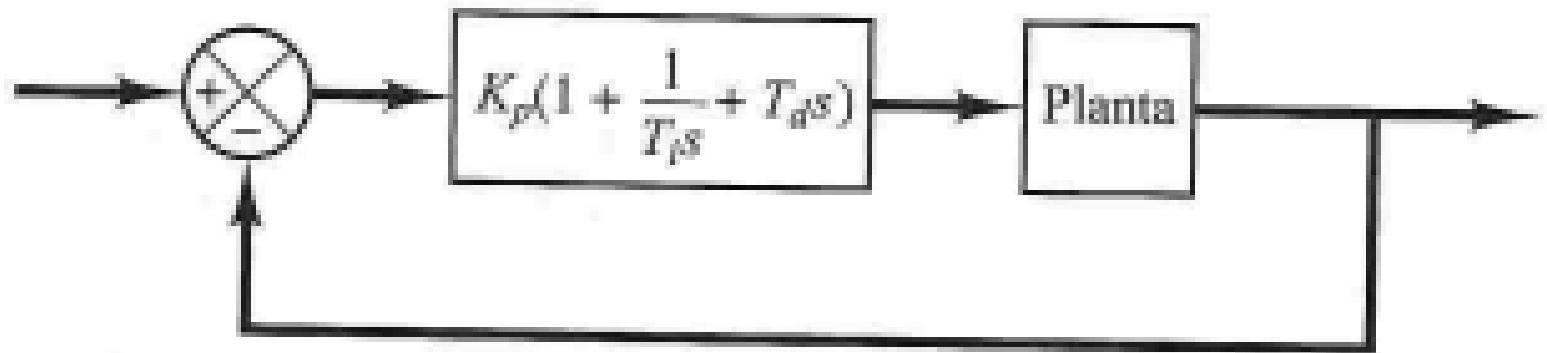


•6. Controle PID

Os controladores PID envolvem uma matemática complexa, no entanto, pode ser simplificado por algumas regras básicas.

Muitos sistemas de controle utilizam apenas a P do software do controlador PID ignorando as partes I e D.

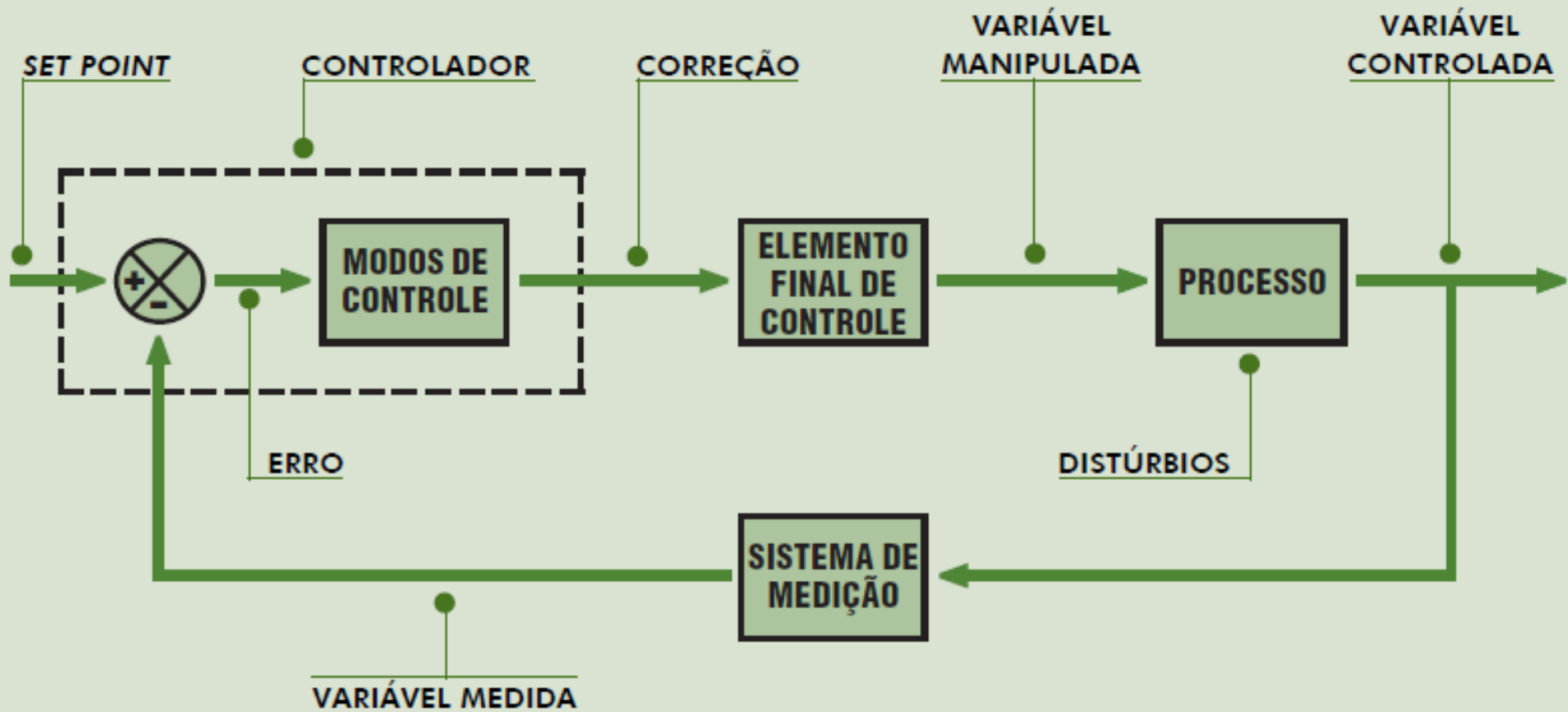
Controladores tipo PID são utilizados em sistemas eletrônicos, hidráulicos, pneumático e amplamente utilizados na indústria.



Controle PID de uma planta.

•6. Controle PID

De uma malha de controle fechada



•6. Controle PID

Os parâmetros de um controlador são utilizados para especificar o desempenho do controlador.

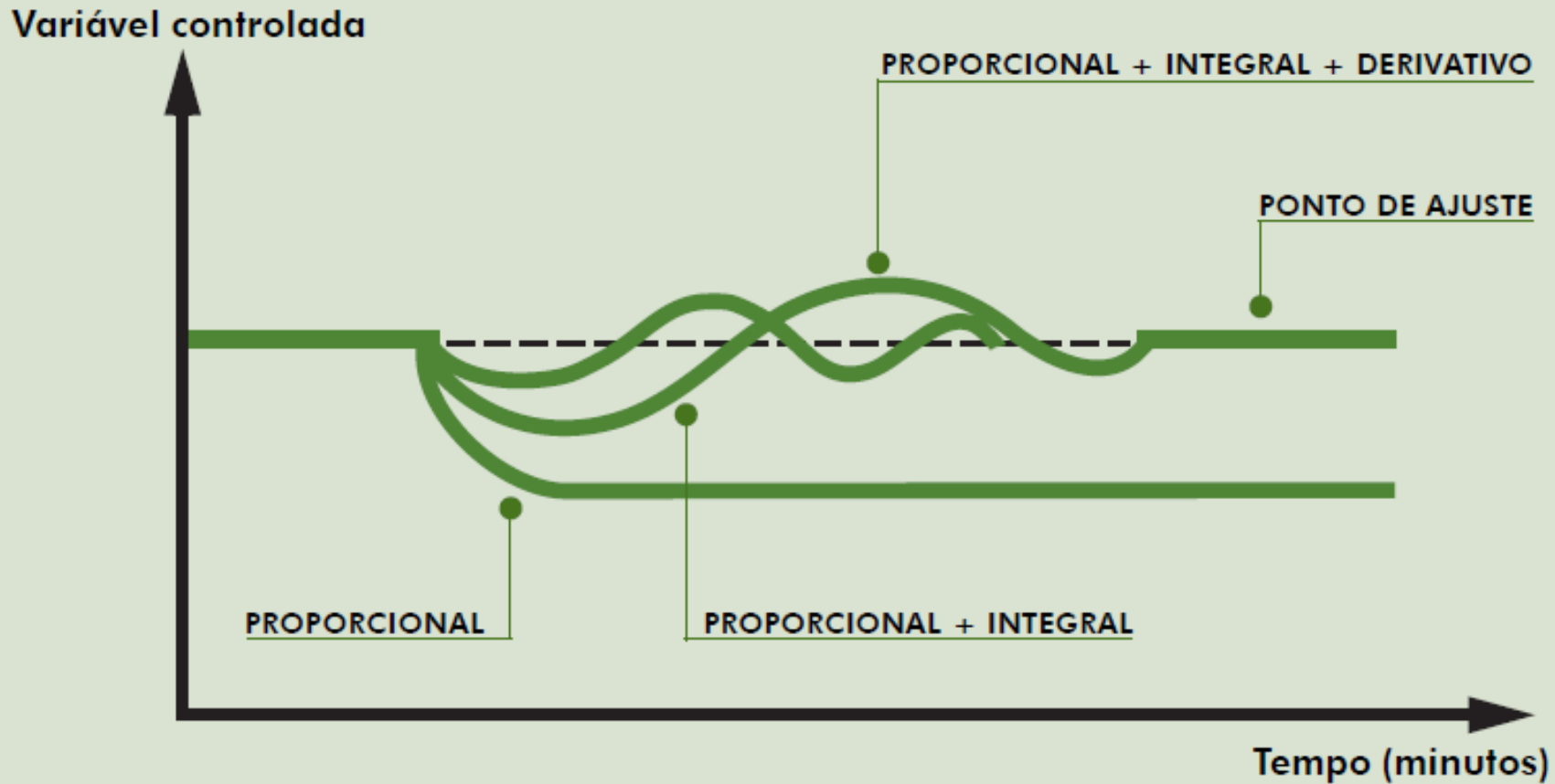
Para isto é utilizado o processo de sintonia do controlador que significa ajustar dos valores de K_p , T_i e T_d .

As regras de Ziegler-Nichols, são utilizadas para para modelagem matemática da planta,

Elas sugerem um conjunto de valores K_p , T_i e T_d , que irão proporcionar a operação estável do sistema.

•6. Controle PID

Proporcional, proporcional + integral, e proporcional + integral + derivativo



•7. Controle Proporcional

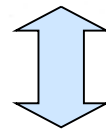
•
O princípio de funcionamento de um controle proporcional é definido pela relação entre a entrada e a saída por meio do erro.

a relação entre a saída do controlador $u(t)$ e o sinal de erro atuante $e(t)$ é:

$$u(t) = K_p e(t)$$

ou, transformando por Laplace,

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$



ganho proporcional

é essencialmente um amplificador com um ganho ajustável

•7. Controle Proporcional

O erro em que se baseia o cálculo do sinal de saída é baseado na diferença entre os valores de entrada e saída.

Com isto, em um sistema proporcional, a saída está configurada diretamente com do valor do erro.

O erro é multiplicado por um número chamado k_p , que determina o tempo em que o sistema alcançara ou não sua estabilidade.

Com isto, o ganho (k_p) é um número utilizado para multiplicar pelo erro para obter o valor de saída.

•8. Controle Integral

o valor da saída $u(t)$ do controlador é modificado a uma taxa de variação proporcional ao sinal de erro atuante $e(t)$

$$\frac{du(t)}{dt} = K_i e(t) \quad \text{ou} \quad u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

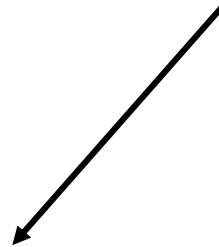
$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s}$$

•9. Controle Proporcional-Integral

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

ou

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$



tempo integrativo

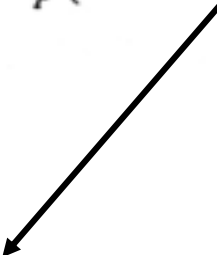
10. Controle Proporcional- • Derivativo

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

ou

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d s)$$

tempo derivativo



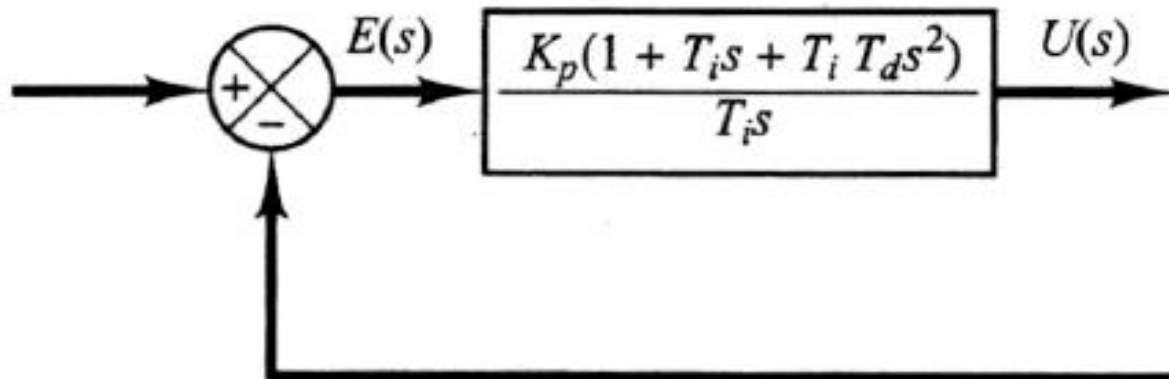
11. Controle Proporcional

- -Integral-Derivativo

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

ou

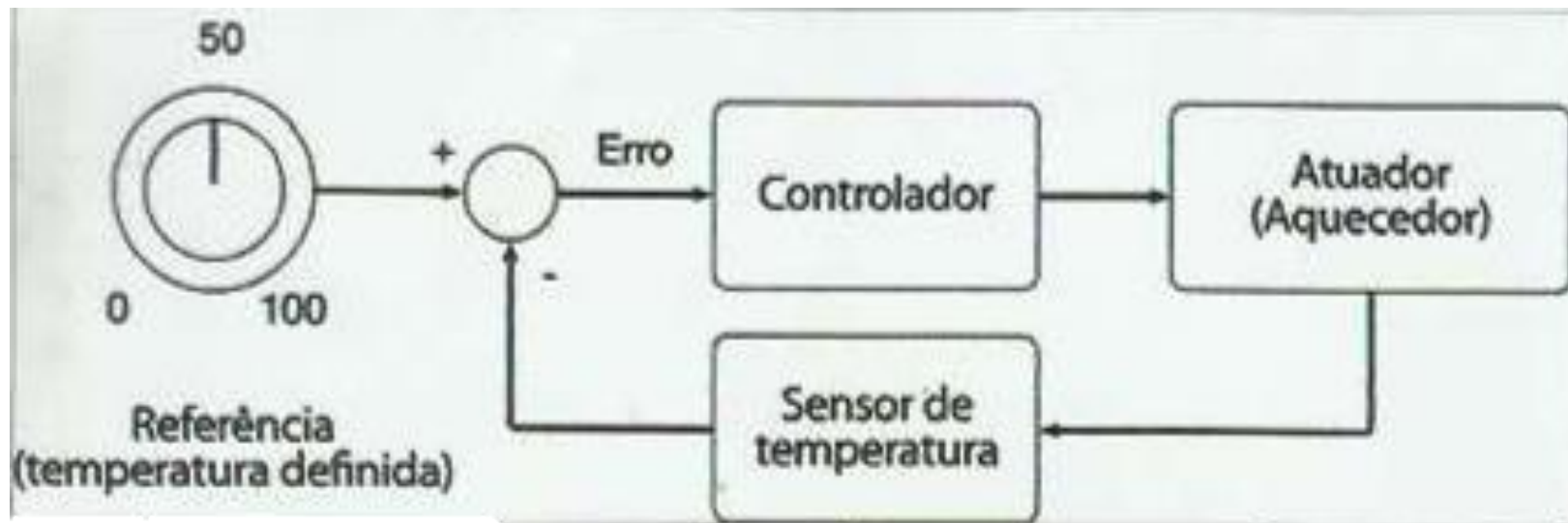
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$



• 12. Experimento Controlador P

A função do controlador de temperatura da figura abaixo é definir uma temperatura desejada para um determinado ambiente.

Uma temperatura de referência será estabelecida e uma temperatura real (medida) por um sensor. O controlador utilizará o erro definido entre as duas temperaturas que poderão ser positivas ou negativas para realizar o controle.



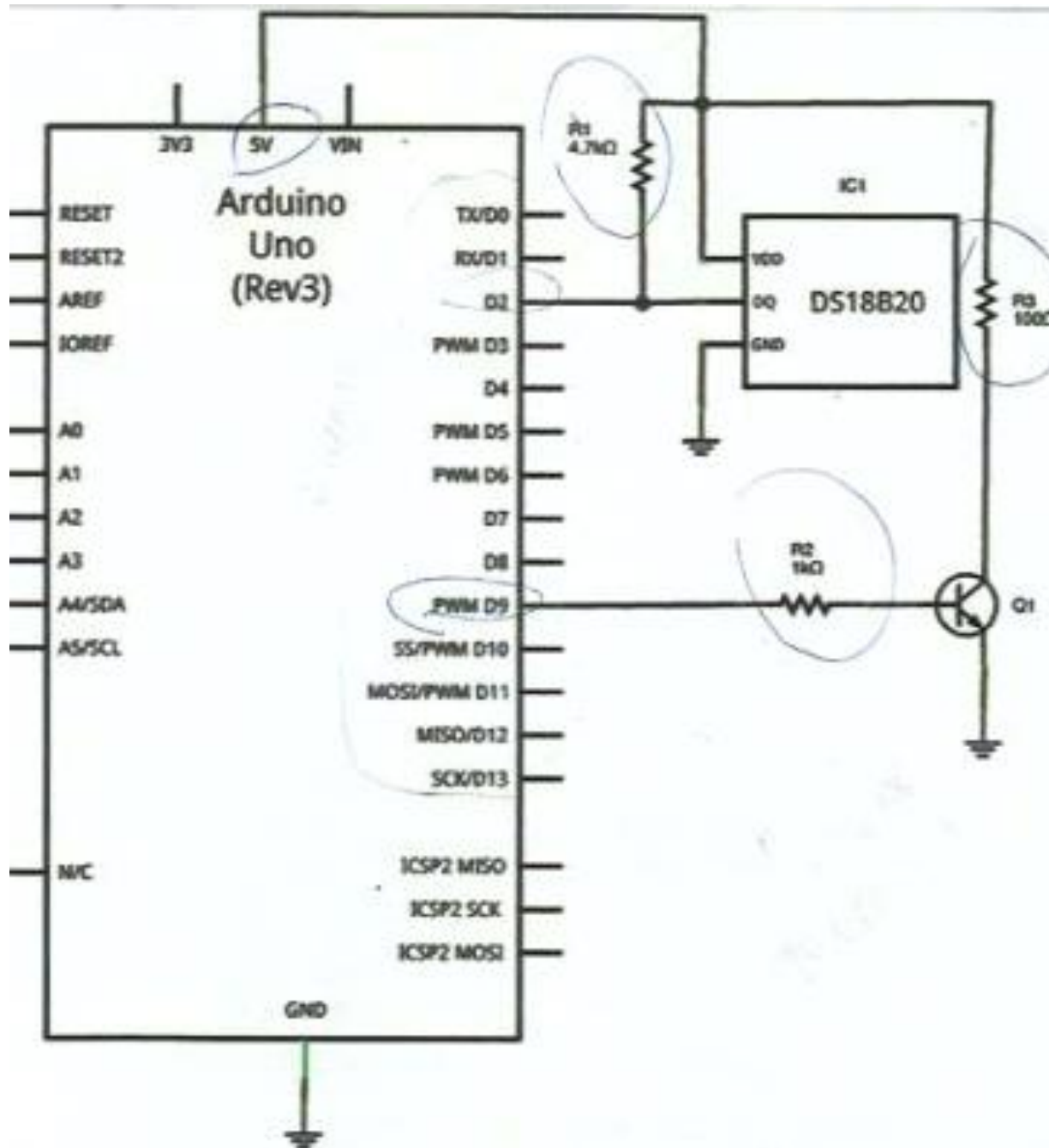
• 12. Experimento Controlador P

Lista de Materiais

Nome	Peça	Fontes
IC1	Termômetro digital DS18B20 ✓	Adafruit: 374 (inclui um resistor de 4,7 k)
R1	Resistor de 4,7 k Ω ✓	Mouser: 291-4,7 k-RC
R2	Resistor de 1 k Ω ✓	Mouser: 291-1 k-RC
R3	Resistor de 100 Ω ✓	Mouser: 291-100-RC
Q1	Transistor Darlington MPSA14 ✓	Mouser: 833-MPSA14-AP
	Matriz de contato sem solda de 400 pontos	Adafruit: 64
	Jumpers macho-macho	Adafruit: 758
	Pequeno prendedor de papel	

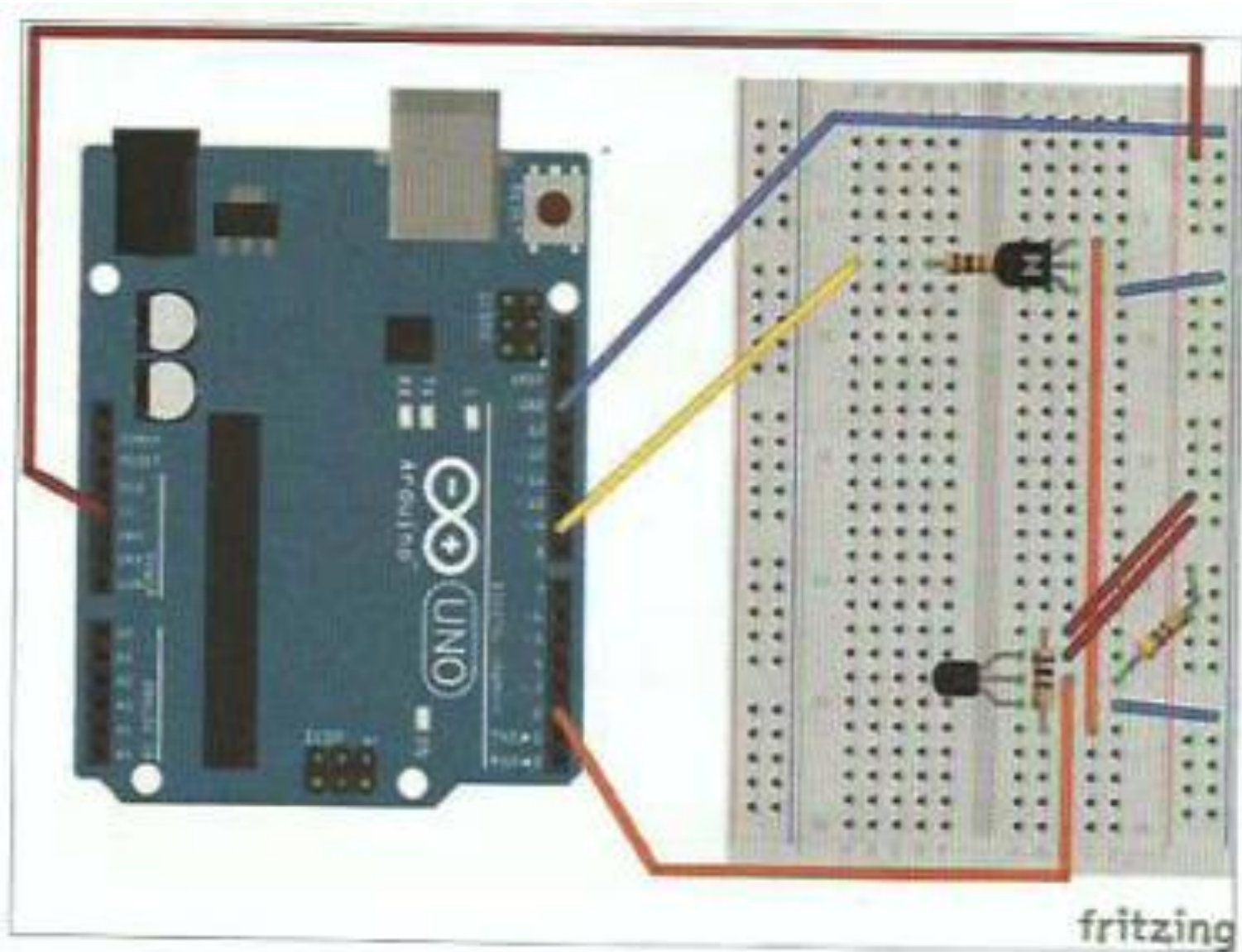
• 12. Experimento Controlador P

Microcontrolador



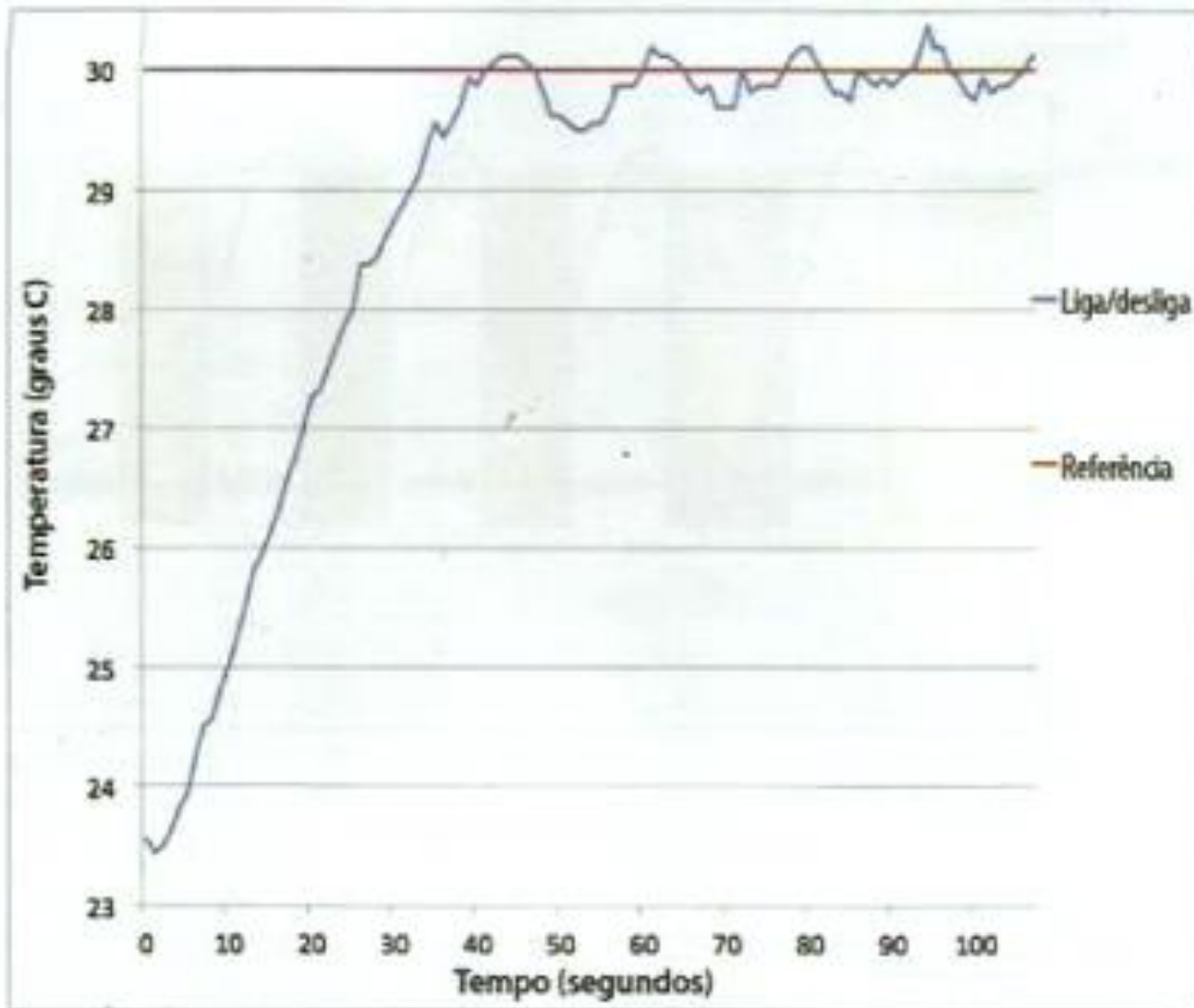
• 12. Experimento Controlador P

Microcontrolador/Placa de Controlador de temperatura



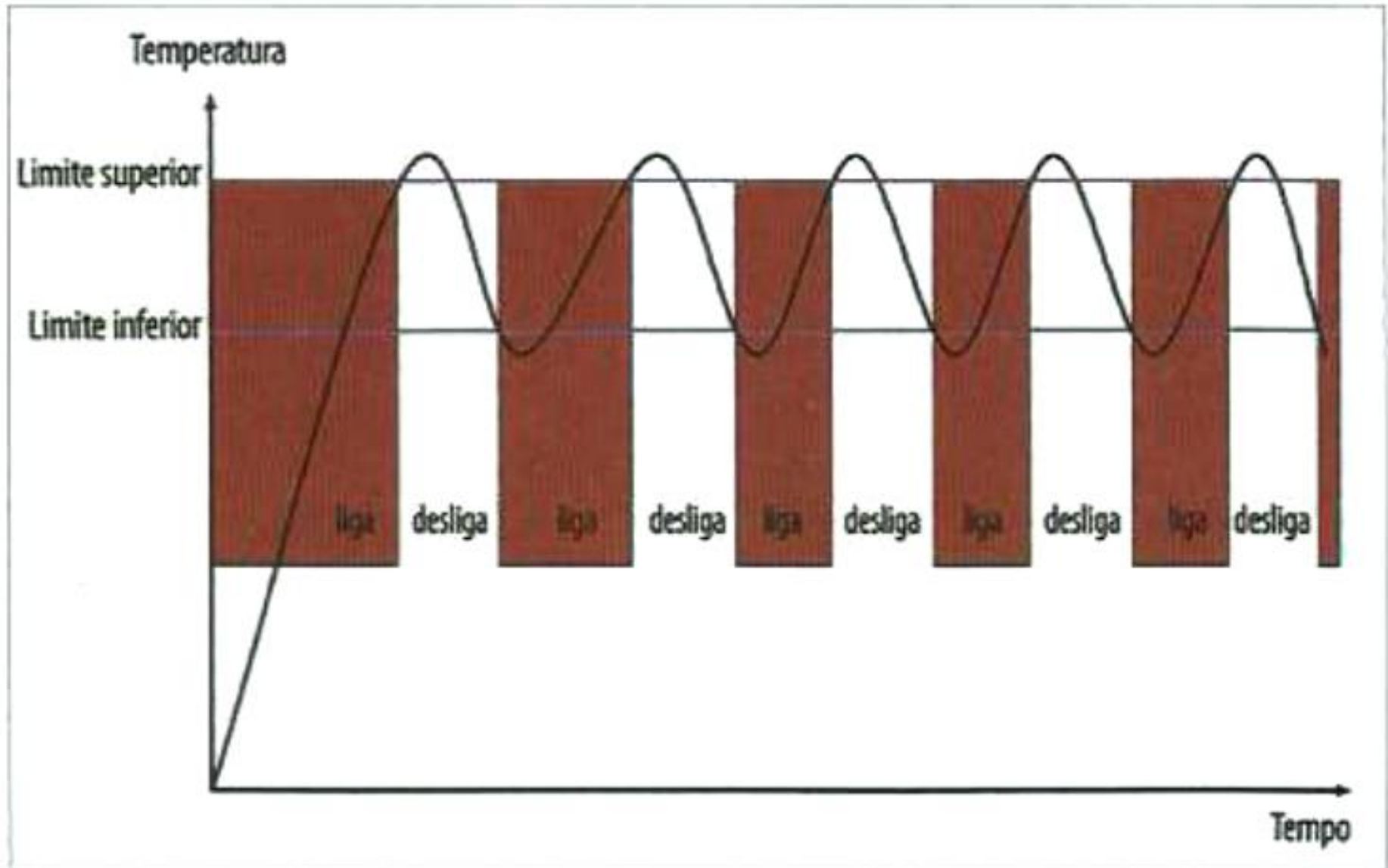
• 12. Experimento Controlador P

Gráfico de temperatura de um termostato tipo liga/desliga



• 12. Experimento Controlador P

Histerese do termostato



• 12. Experimento Controlador P

Efeito de ganho k_p (ganho) sobre a saída em um controlador proporcional

