

Ensino de Controlo Automático com o Laboratório Portátil TCLab

Paulo Moura Oliveira

Departamento de Engenharias

UTAD, Portugal

email: oliveira@utad.pt

- ✓ Penso que a seguinte afirmação ainda é válida:

O ensino de qualquer Engenharia requer implementações práticas das técnicas aprendidas.

- ✓ Na Engenharia do Controlo (*Control Engineering*) também.
- ✓ Potenciais **dificuldades** no ensino prático do controlo:

1. **O tempo que cada aluno passa nos laboratórios nas aulas práticas pode ser insuficiente para consolidar o conhecimento.**

2. **O acesso dos alunos aos laboratórios extra aula pode ser difícil (disponibilidade, técnicos de apoio, etc.)**



- ✓ Os laboratórios de acesso remoto podem ser uma solução.
- ✓ Dependendo do tipo de experiência montar um laboratório de acesso remoto pode ser complexo e dispendioso.

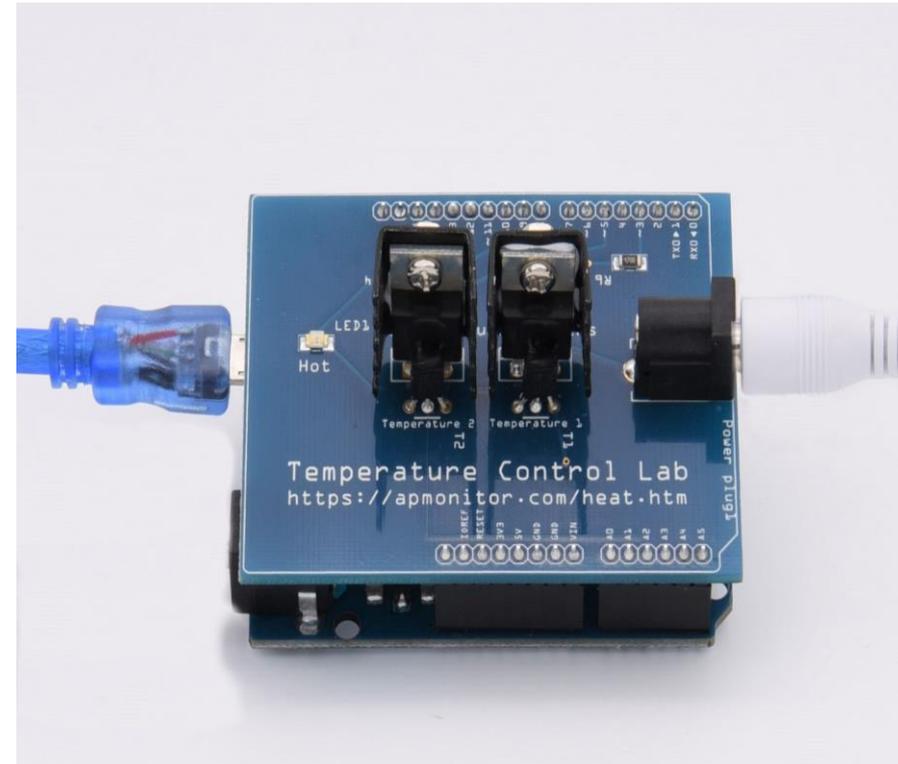
3. Muitos dos kits para o ensino prático de controlo são **dispendiosos (e.g. Quanser, Feedback)**.

4. Os alunos (e professores) “anseiam” por dispositivos **simples de utilizar, portáteis**, que permitam testar técnicas de controlo.

O TCLab pode parte da solução para este problemas

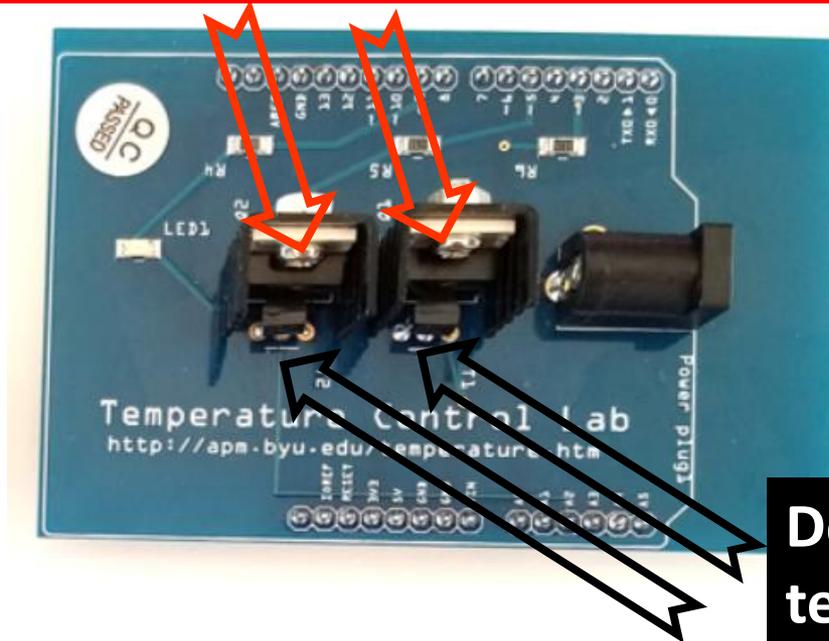
O que é o TCLab?

- ✓ **TCLab- Temperature Control Laboratory**, foi desenvolvido pelo John Hedengren [1] baseia-se num Arduino (Uno ou Leonardo):



O que é o TCLab?

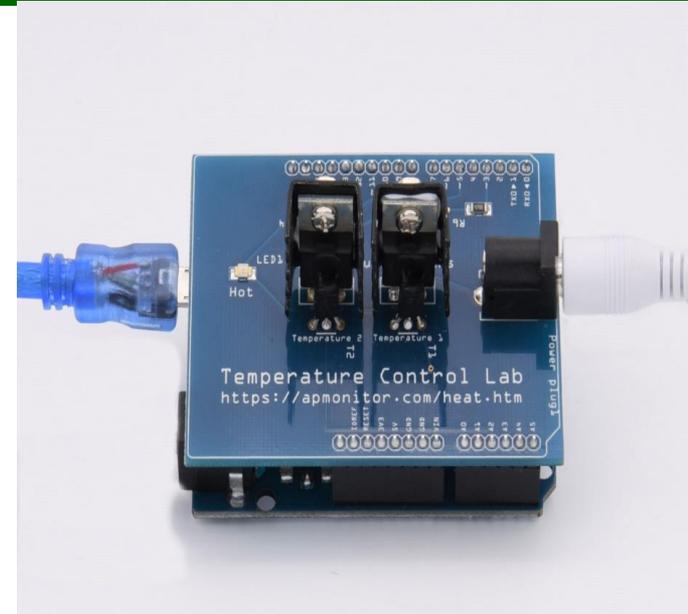
Dois transístores atuam no sistema como aquecedores (*Heaters*) - Atuadores



Dois sensores medem a temperatura nos transístores

- ✓ Após a compra o TCLab está pronto para ser utilizado.
- ✓ Cada kit custa 35 USD (mais despesas de envio).
- ✓ Existe muita informação disponível de apoio para experiência de ensino de controlo em:

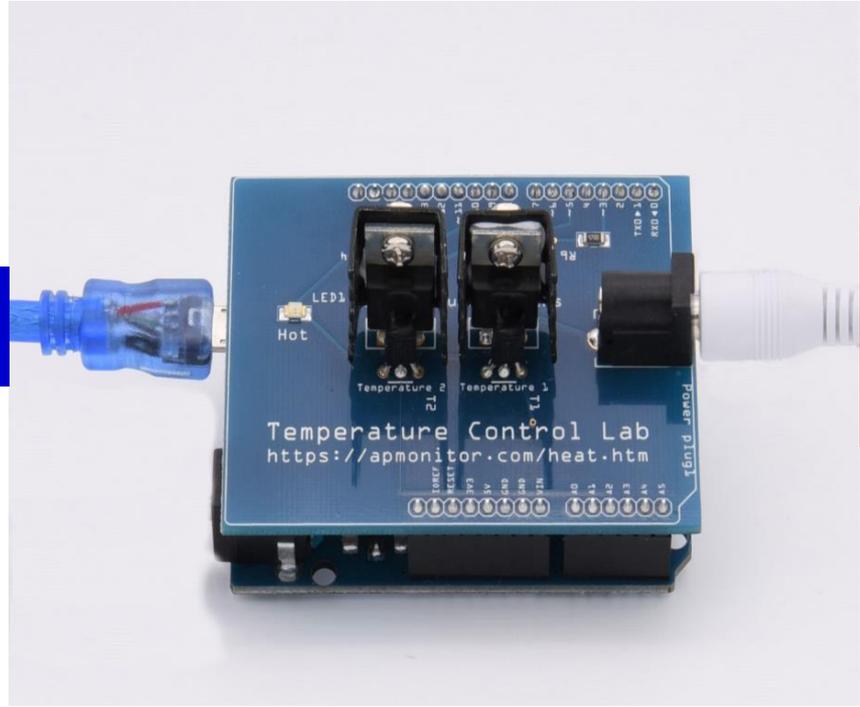
<http://apmonitor.com/heat.htm>



utad

Como se liga o TCLab?

Computador



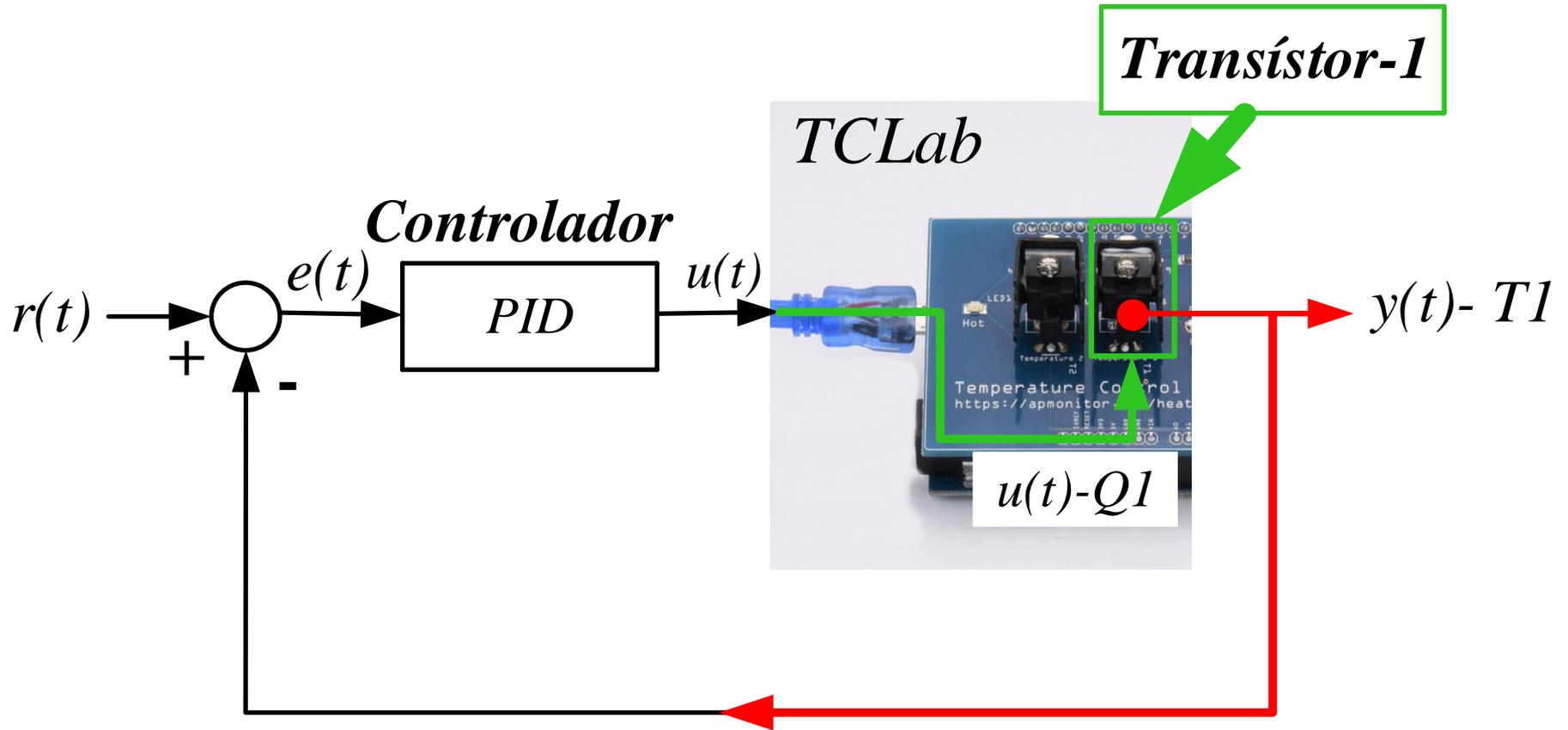
Rede Elétrica

- ✓ O Controlo de efeito Proporcional, Integrativo e Derivativo (PID) é o **mais utilizado** na indústria.
- ✓ **Como ajustar um controlador PID?**

Controlar Automaticamente a temperatura no transístor 1

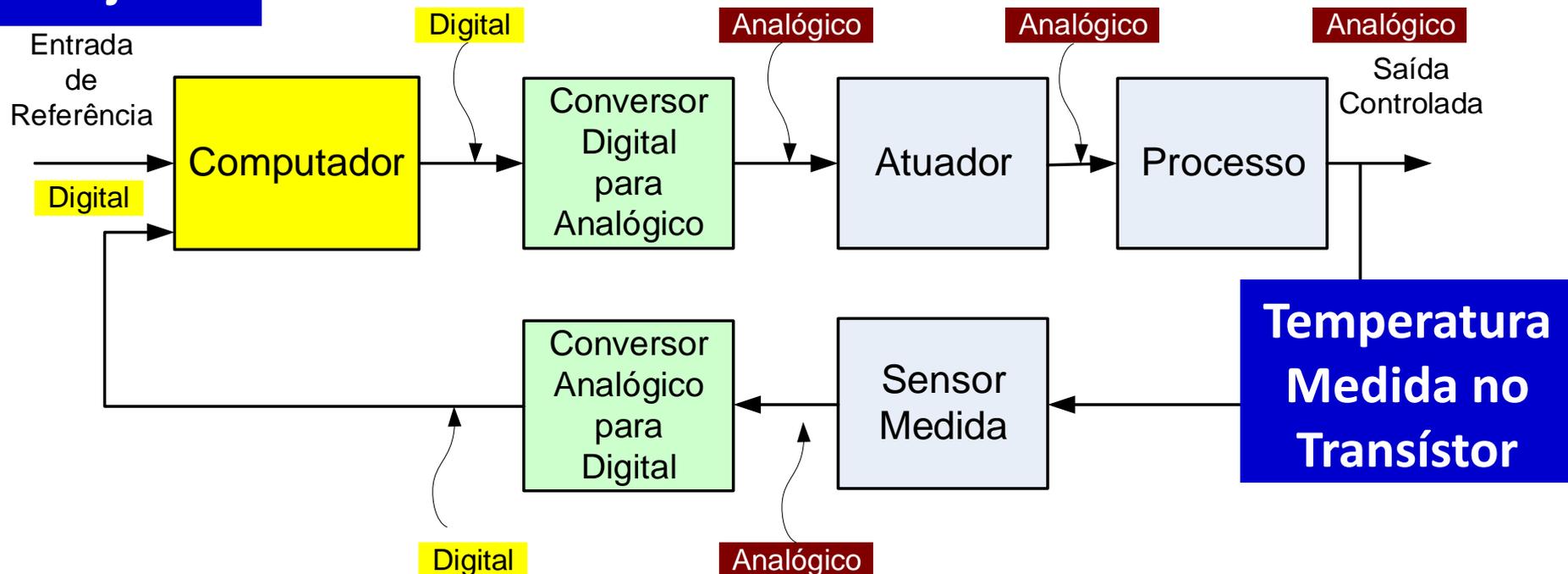
- 1. Desenvolver um modelo matemático que represente o processo a controlar (dinâmica da temperatura o transístor).**
- 2. Com base no modelo projetar vários tipos de controladores.**
- 3. Simular o desempenho do sistema de controlo.**
- 4. Testar os controladores no TCLab.**

Objetivo de Control



- ✓ O TCLab é um dispositivo digital \Rightarrow Controle Digital

Temperatura Desejada



- ✓ O TCLab pode ser programado utilizando várias linguagens e ambientes:

- Python



- Matlab/Simulink



- OCTAVE

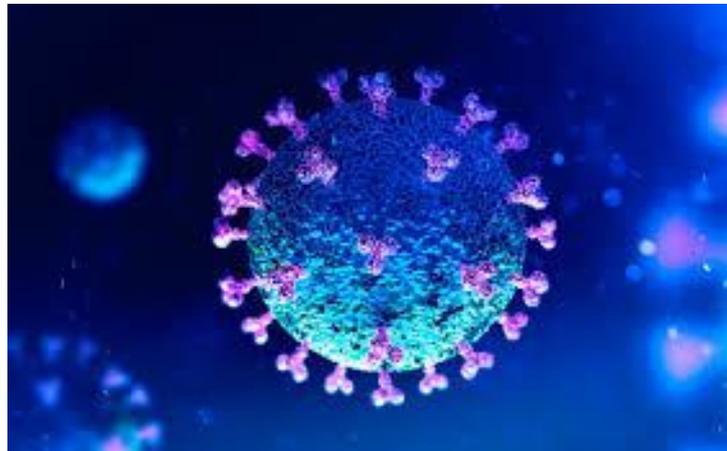


- ...

OCTAVE

✓ Nos últimos 2 anos tenho vindo a utilizar o TCLab nas aulas práticas das seguintes unidades curriculares:

- 1. Modelação e Controlo de Sistemas**, 3º ano da Licenciatura em Eng^a Biomédica (2018-2019 / 2019-2020)
- 2. Modelação e Controlo de Sistemas**, 3º ano da Licenciatura em Bioengenharia. (2019/2020)
- 3. Controlo Digital**, 4º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. (2018-2019 / 2019-2020)



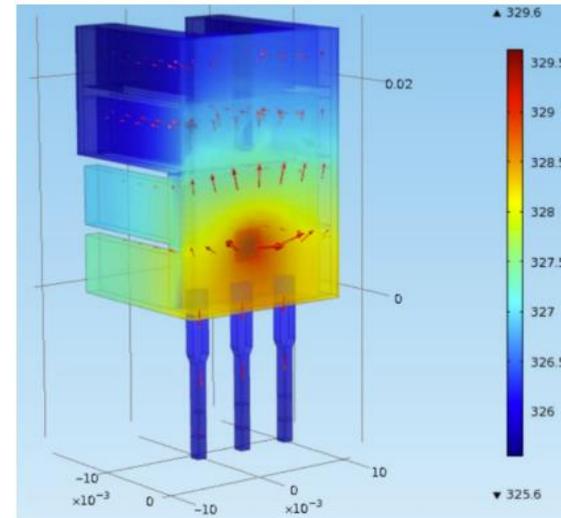
- ✓ Há várias técnicas de desenvolver um modelo de um sistema.

Arduino Dynamic Temperature Modeling

Objective: Derive a **nonlinear transient model** and fit a linear **first order** or **second order** system. Compare the model predictions to the transient lab data.

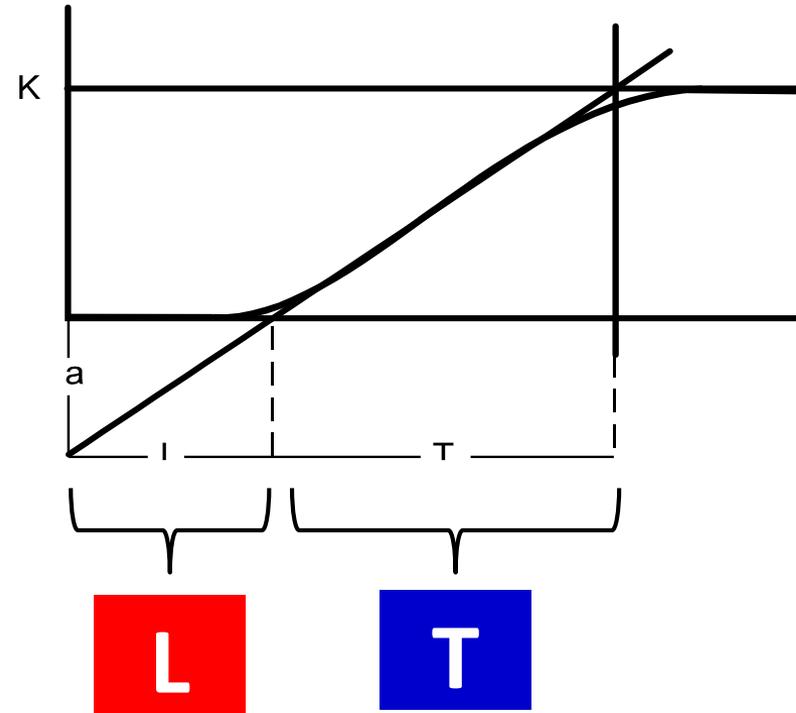
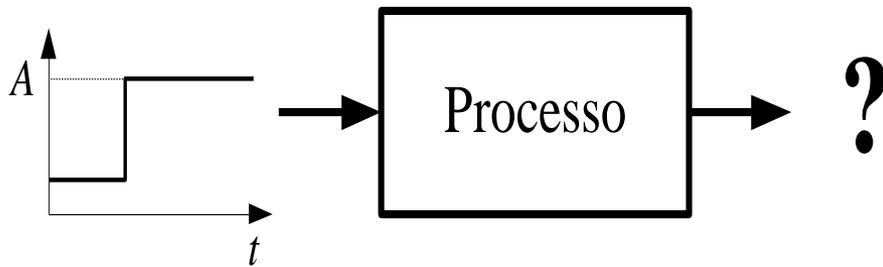
The first phase of the temperature control lab is to derive a dynamic model of the system with guess values for parameters. The three important elements for a control loop are the measurement device (thermistor temperature sensor), an actuator (transistor), and capability to perform computerized control (USB interface). At maximum output the transistor dissipates 1 W of power at 100% heater output. The mass of the transistor and heat sink with fins is 4 gm.

- ✓ Existem sistemas em todos os domínios das Engenharias que podem ser modelados por equações diferenciais de 1ª e 2ª ordem.



<https://apmonitor.com/pdc/index.php/Main/ArduinoModeling>

- ✓ Vamos modelar o processo por um modelo de **primeira ordem com atraso no tempo (First Order Plus Time Delay, FOPTD)**.

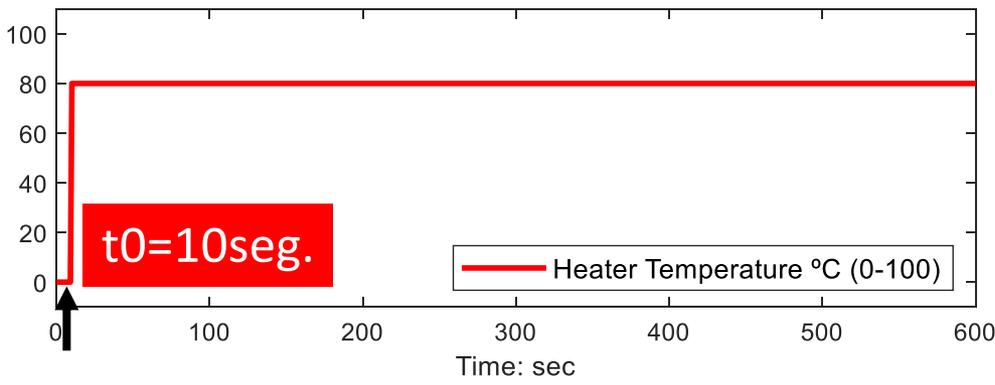
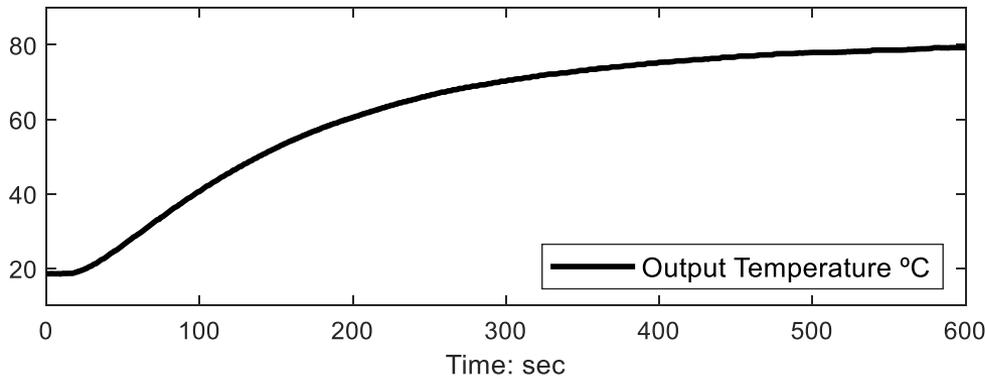
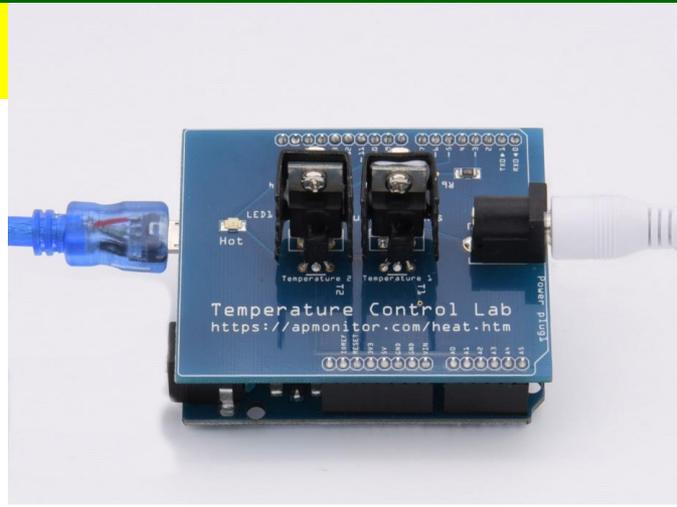


Modelo em Laplace:

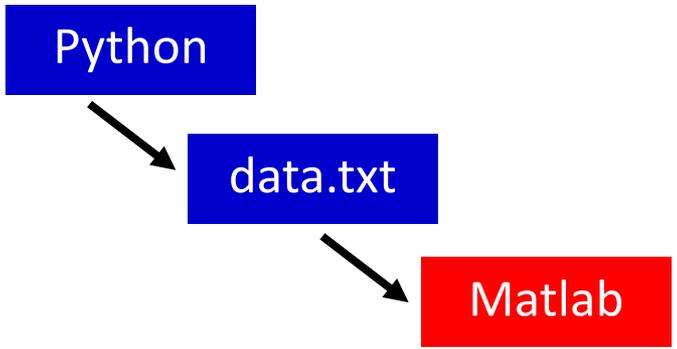
$$G_p(s) = K \frac{1}{(1 + sT)} e^{-sL}$$

Método dos Dois Pontos (2pt)

✓ Este método baseia-se na determinação de dois pontos da resposta em malha aberta (35.2% e 85.3%).

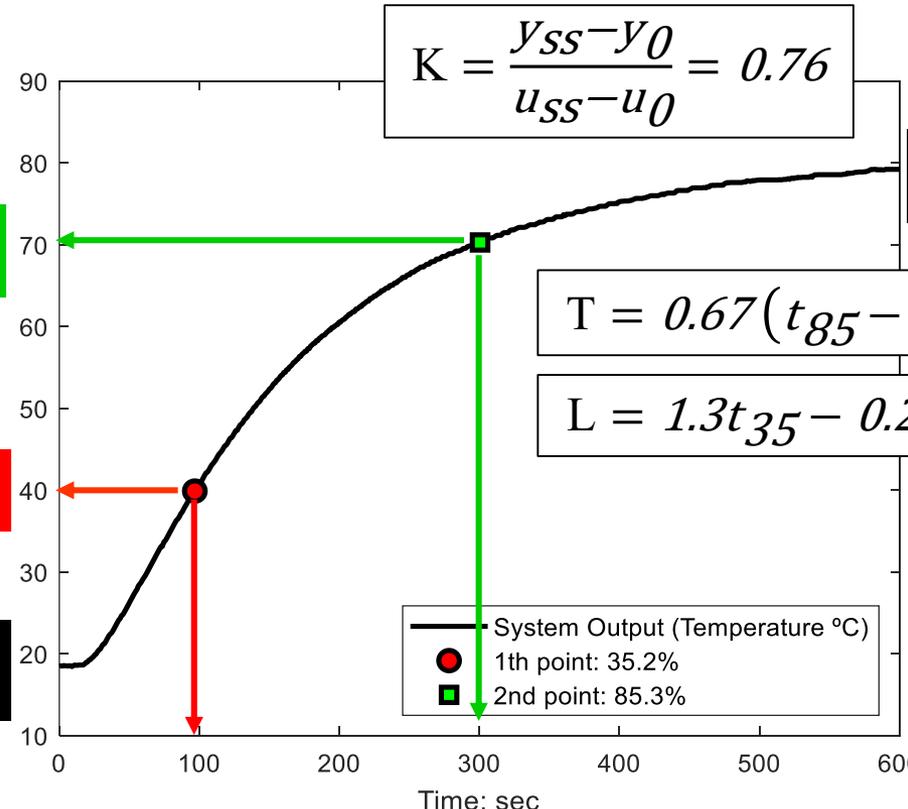
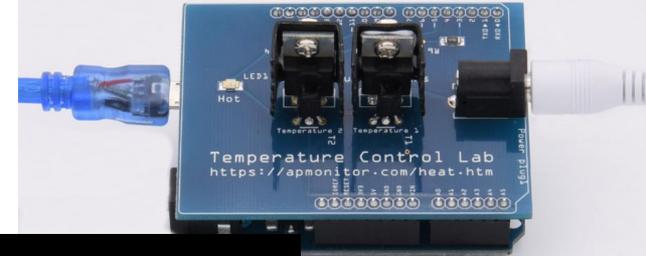


✓ A figura apresenta a resposta a um degrau com amplitude de 80° aplicado ao aquecedor.



Método dos Dois Pontos (2pt)

✓ Determinação dos dois pontos:



y85=70.30°C

y35=39.91°C

y0=18.5 °C

yss=79.23°C

t35=96.8 seg.

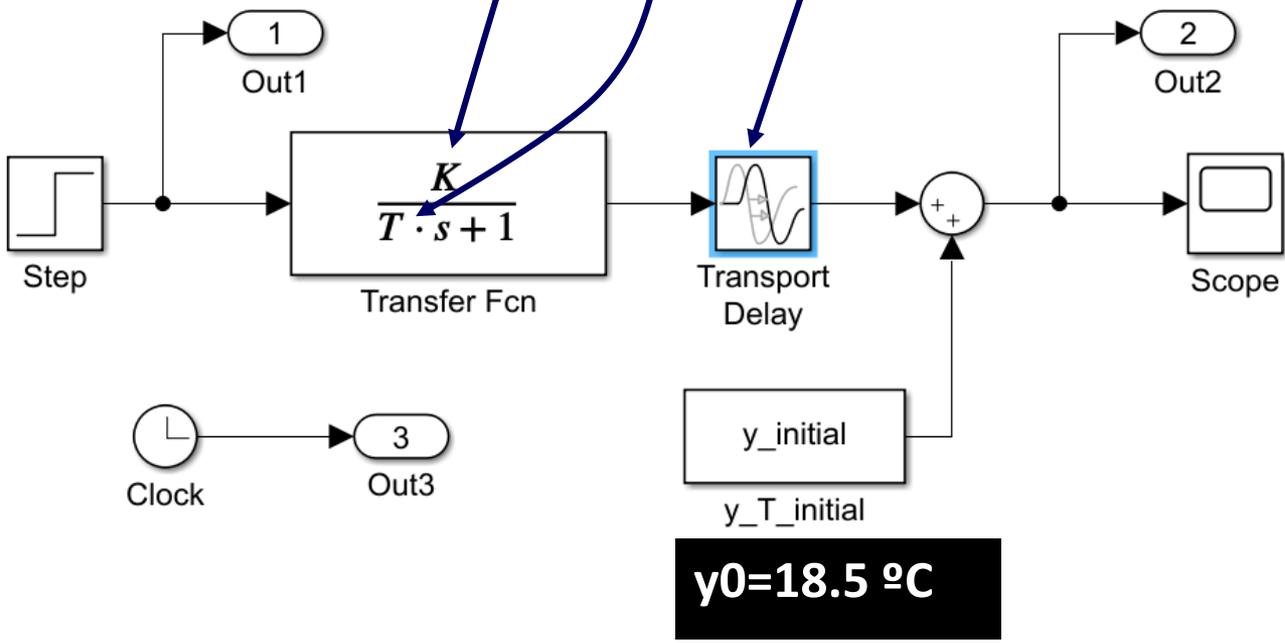
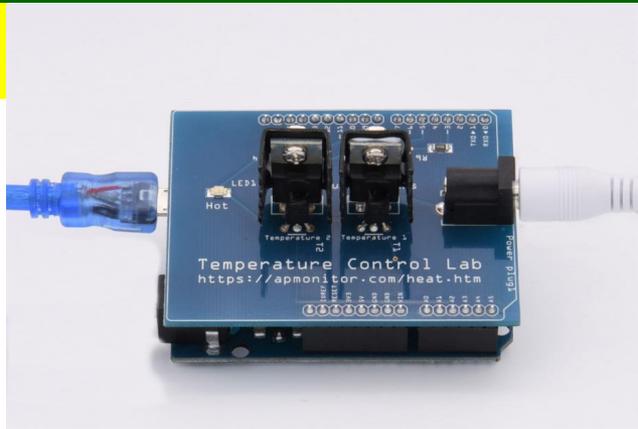
t85=300.5 seg.

$$G_{2pt}(s) = \frac{0.76}{1+137s} e^{-28.6s}$$

Método dos Dois Pontos (2pt)

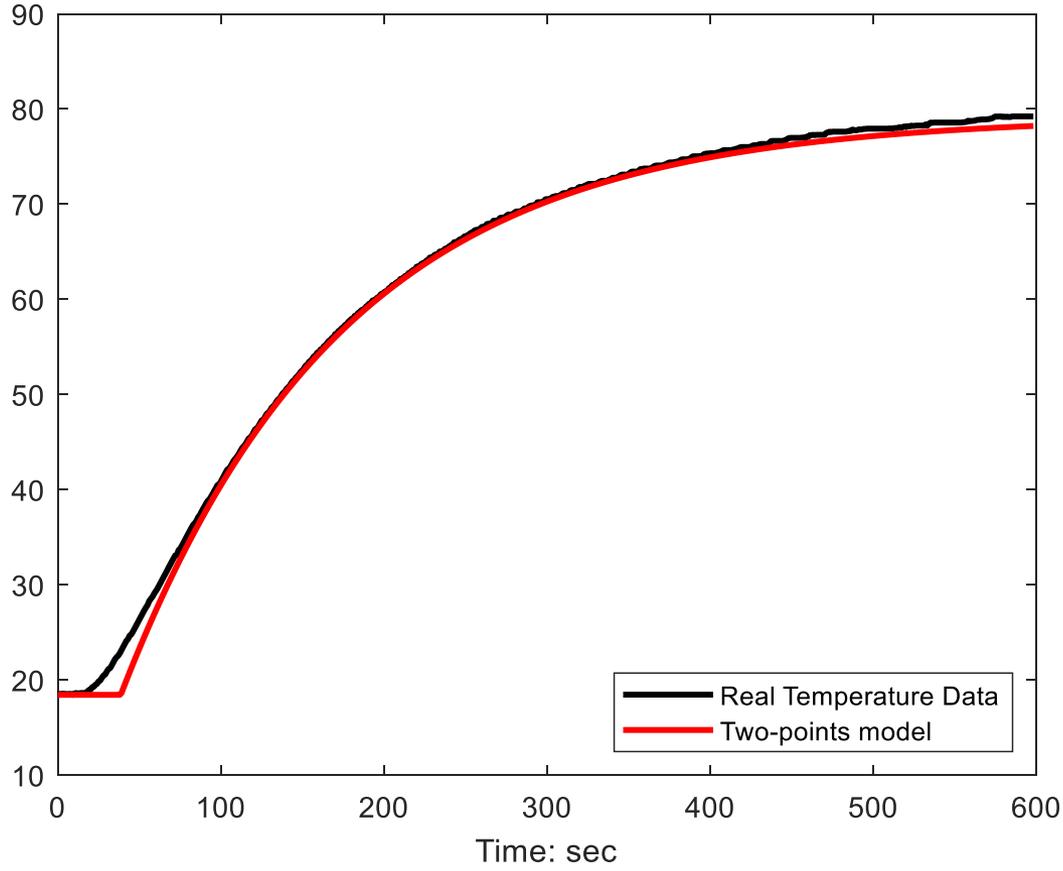
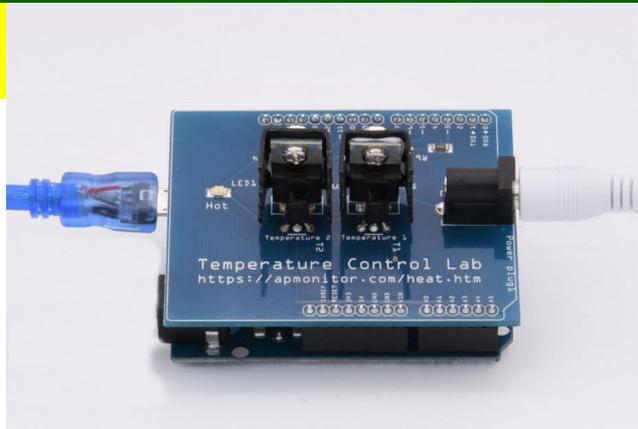
✓ Validação do modelo utilizando um modelo do simulink:

$$G_{2pt}(s) = \frac{0.76}{1+137s} e^{-28.6s}$$



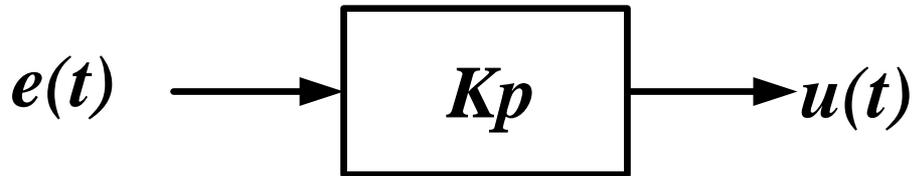
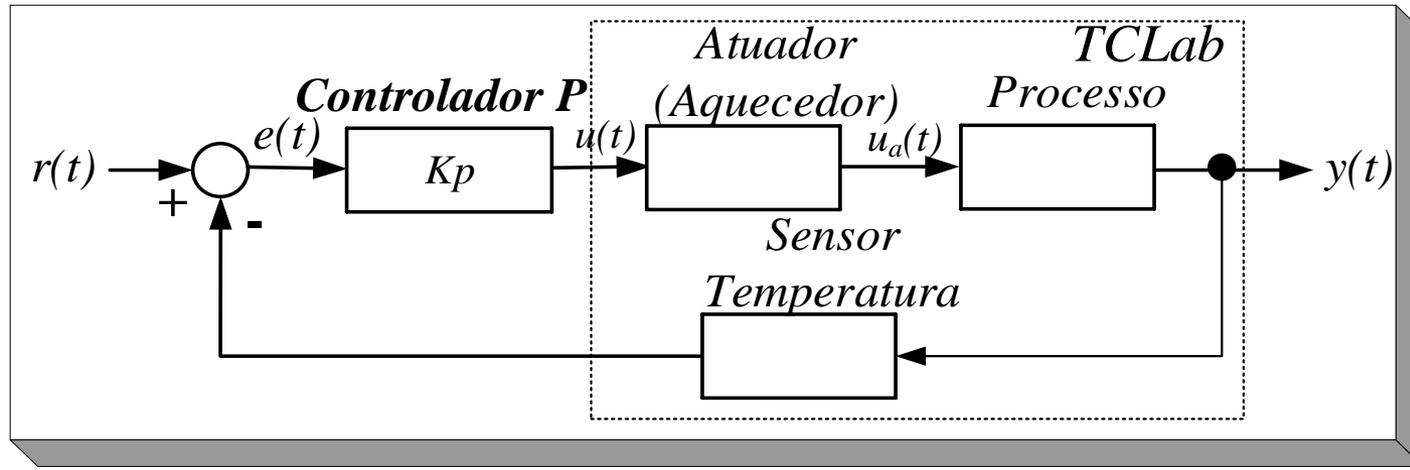
Método dos Dois Pontos (2pt)

✓ Validação do modelo utilizando um modelo do simulink:

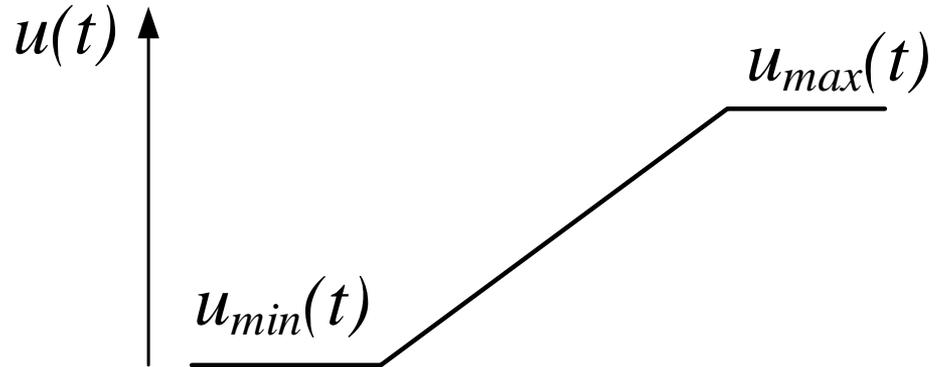


$$G_{2pt}(s) = \frac{0.76}{1+137s} e^{-28.6s}$$

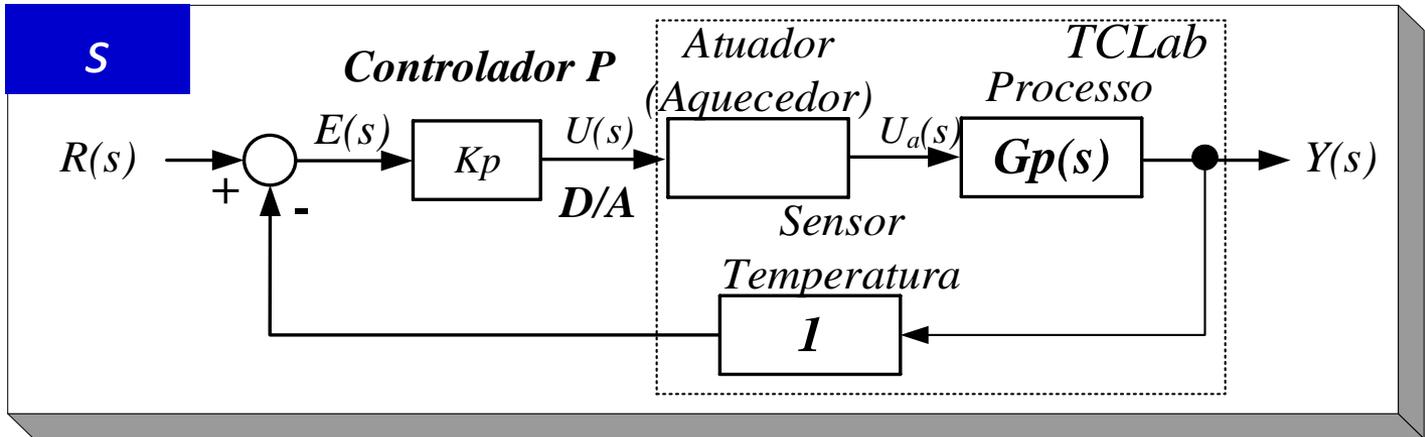
Controlo Proporcional (P)



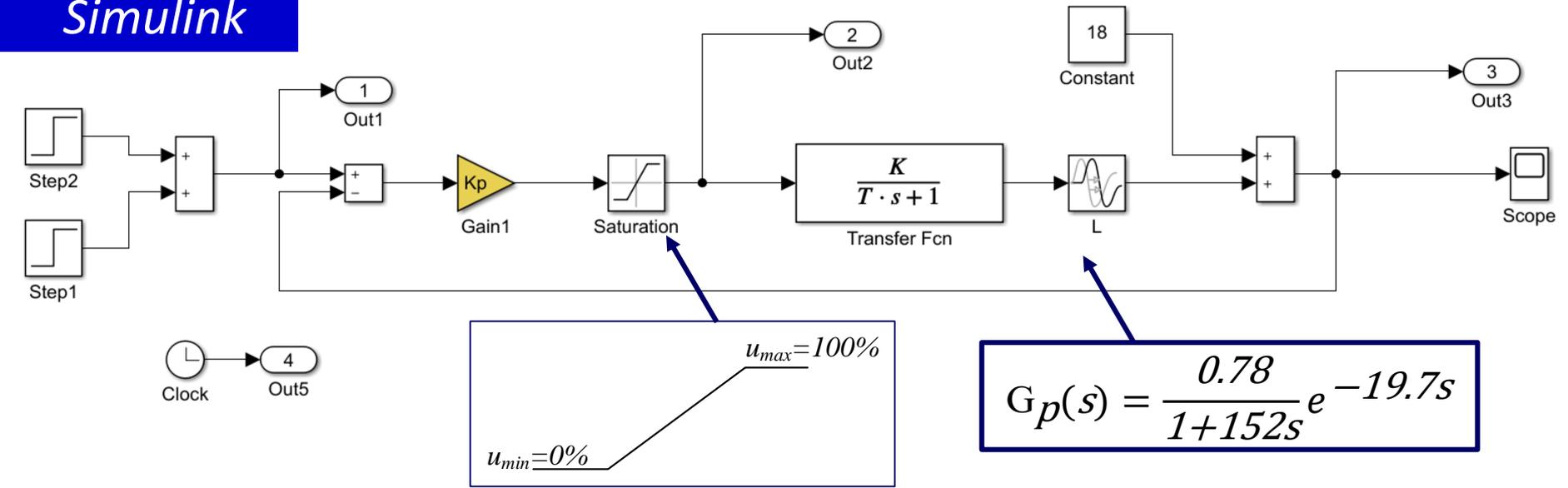
$$u(t) = K_p e(t)$$



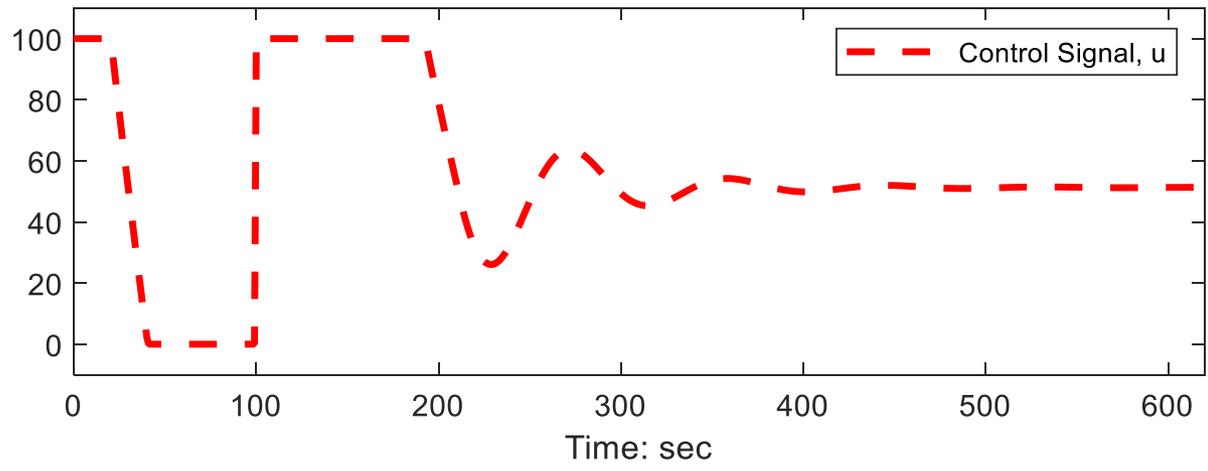
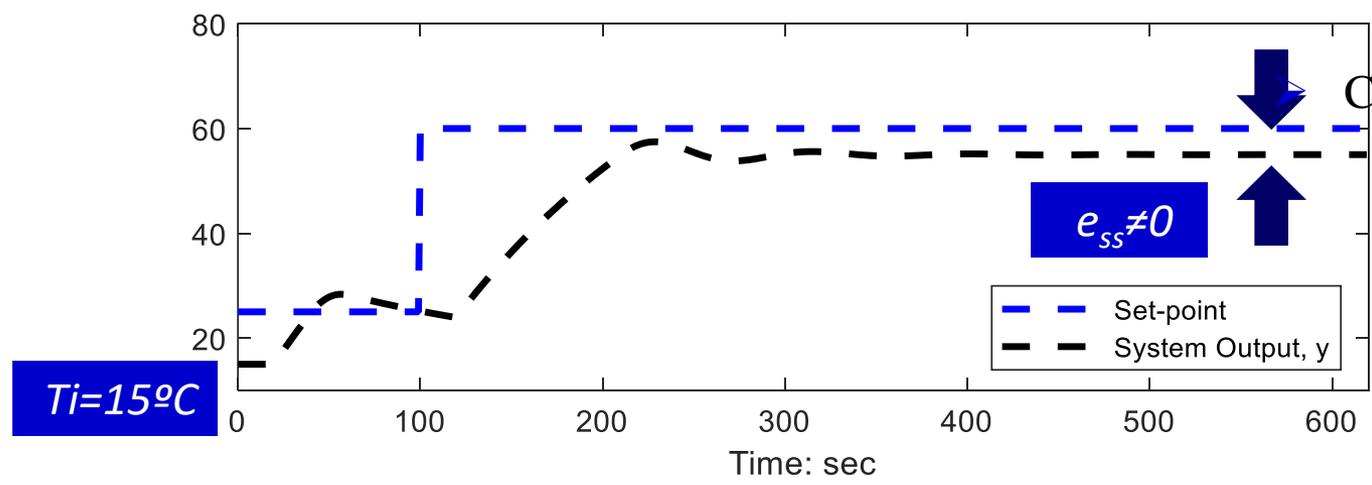
Simulação usando Modelos Contínuos



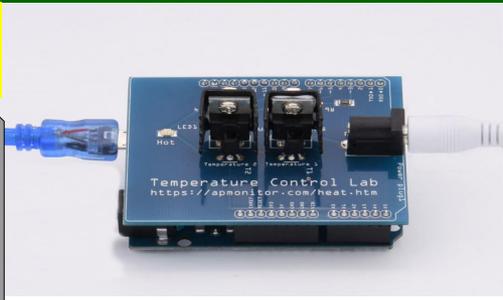
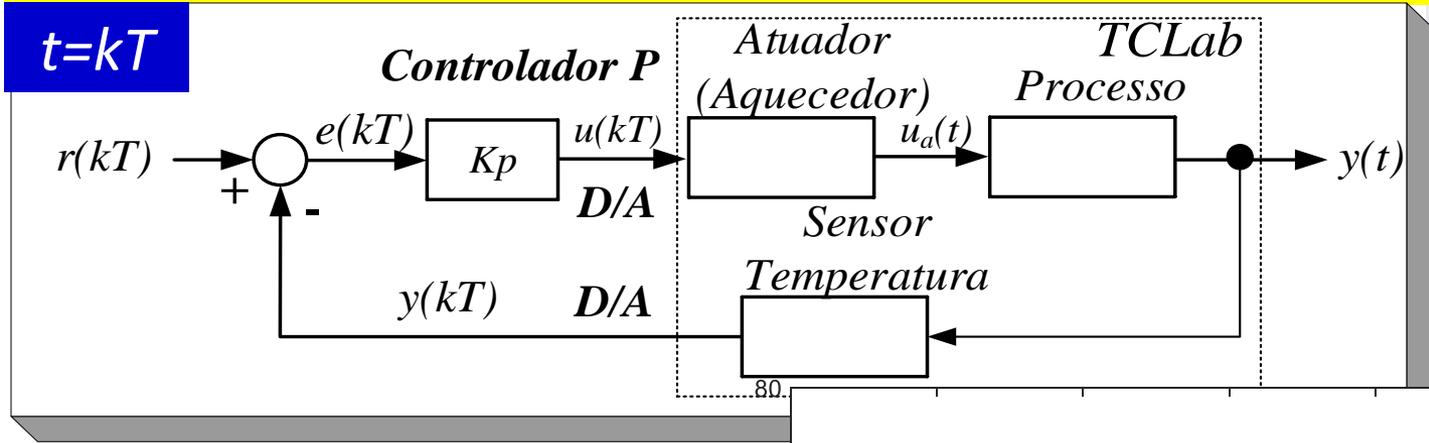
Simulink



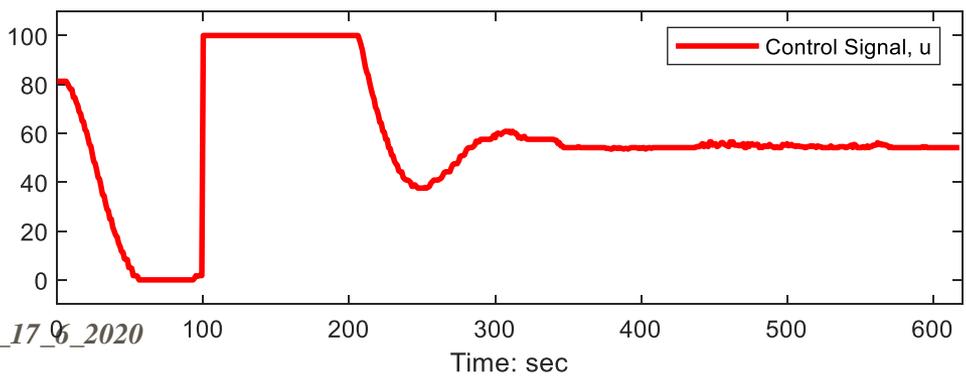
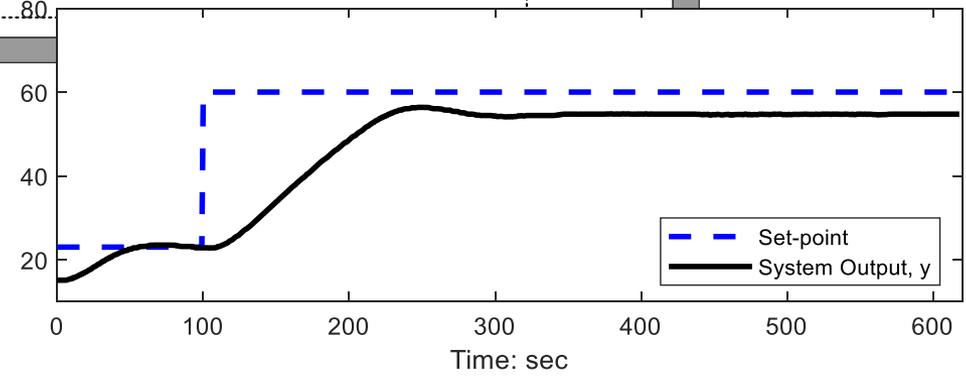
Simulação usando Modelos Contínuos



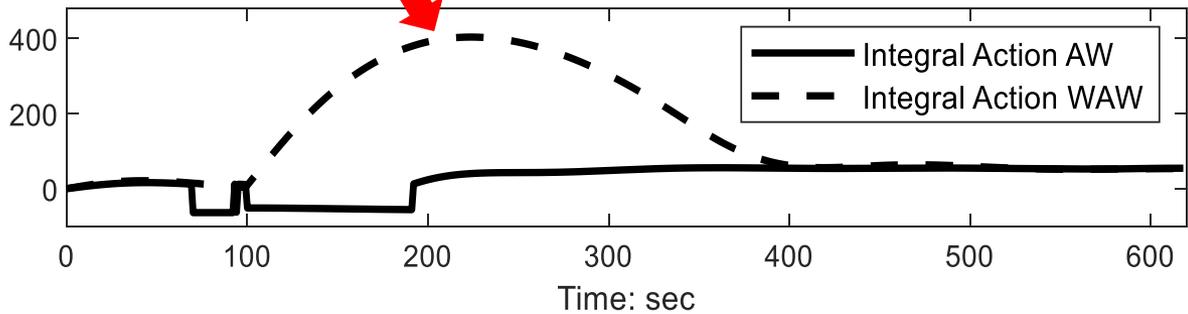
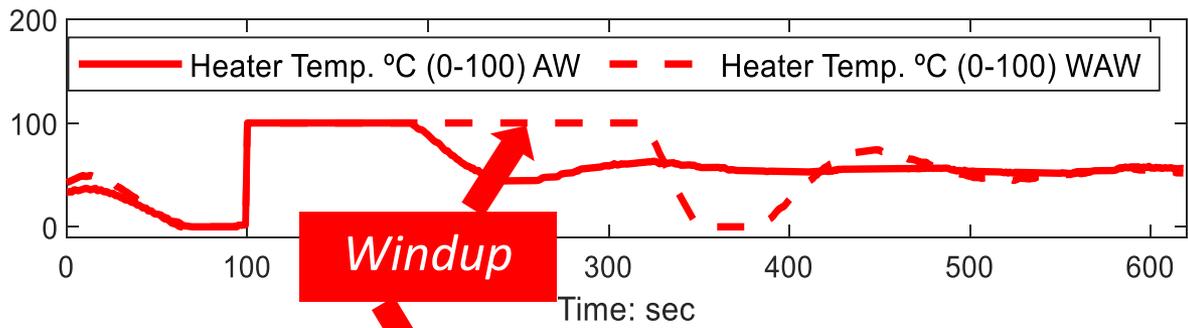
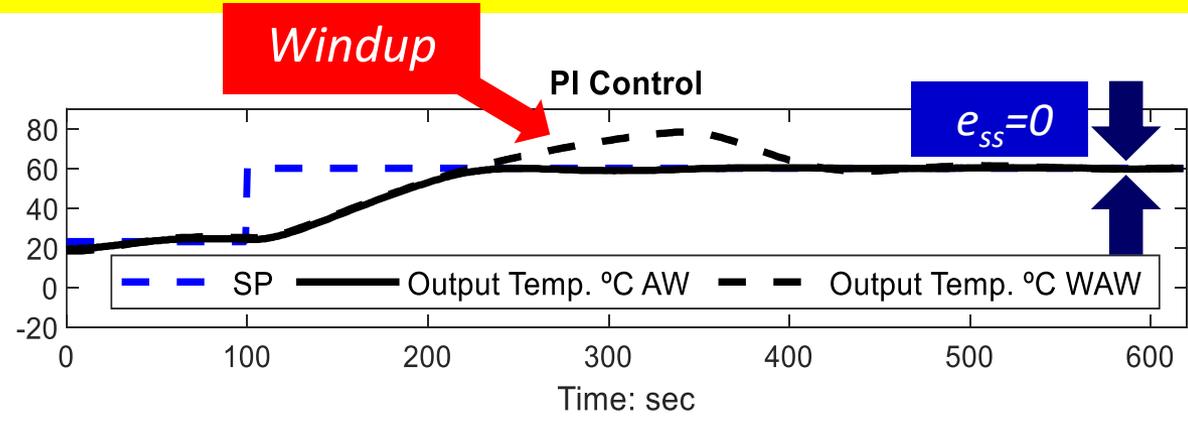
Simulação usando Modelos Discretos

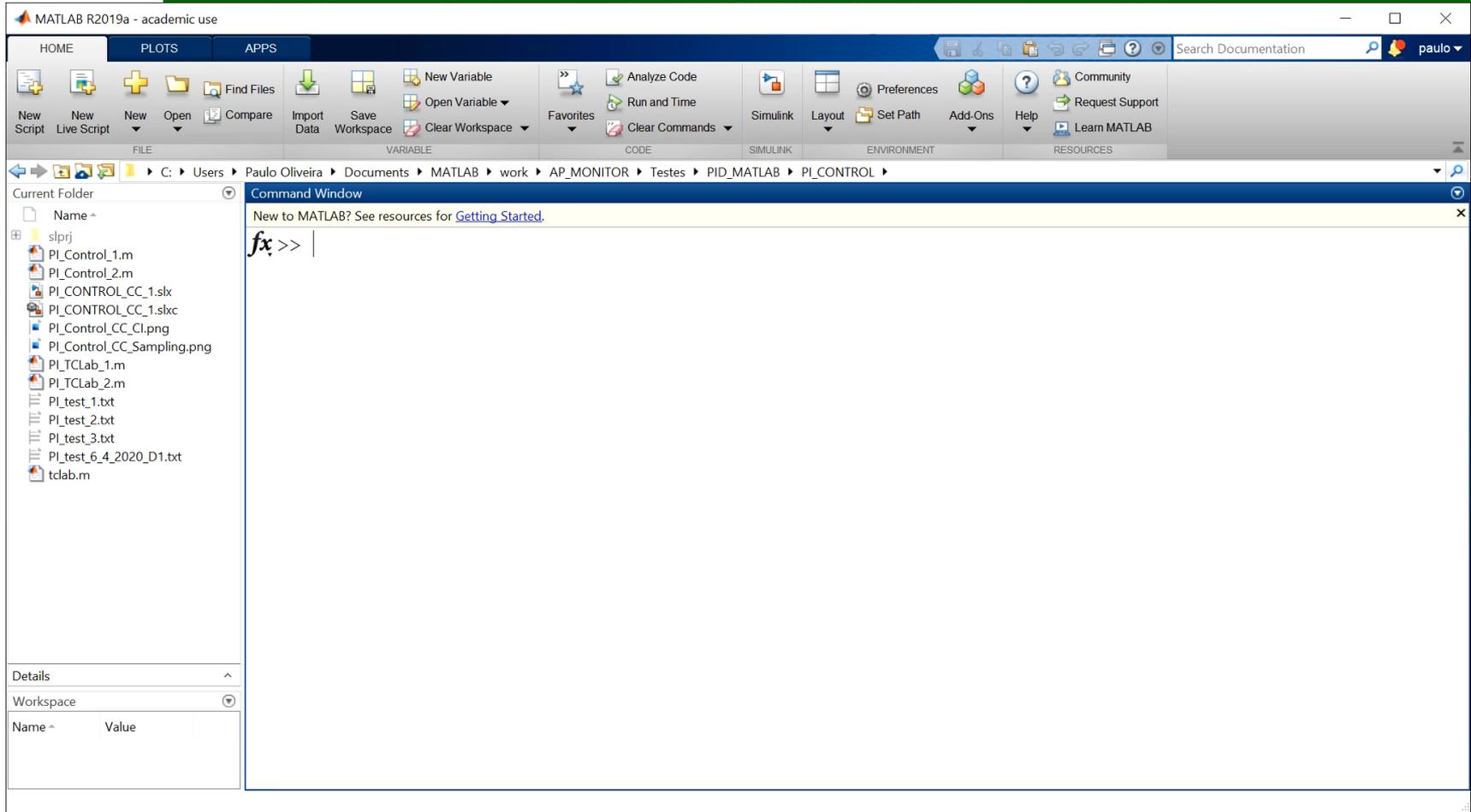


Resposta no TCLab



Controlo Proporcional e Integrativo (PI)

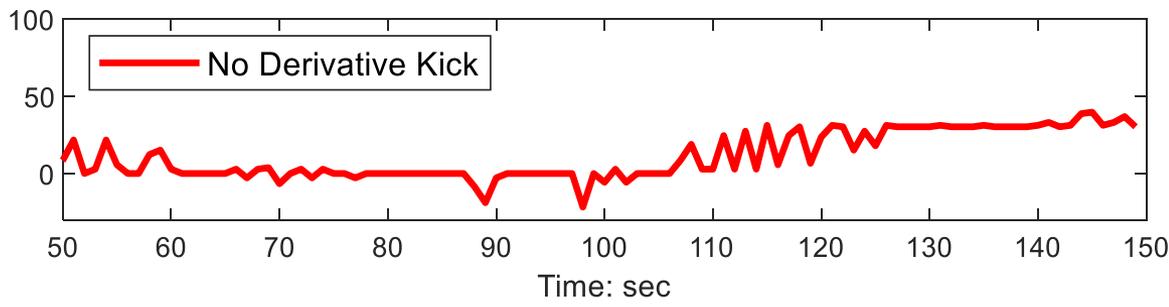
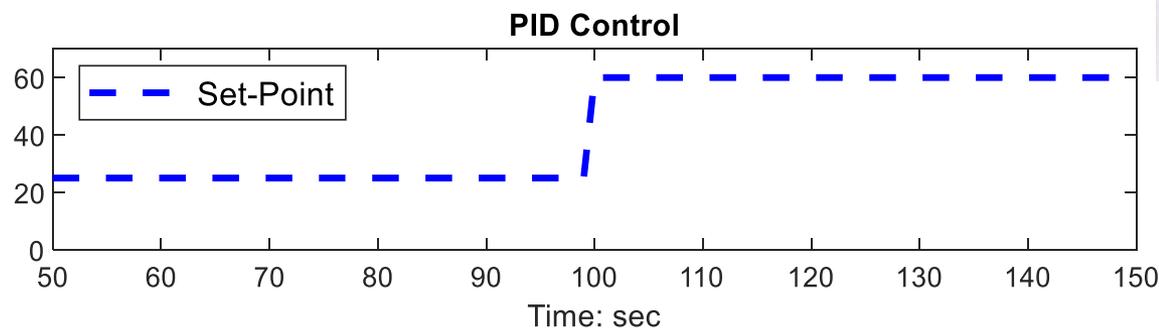




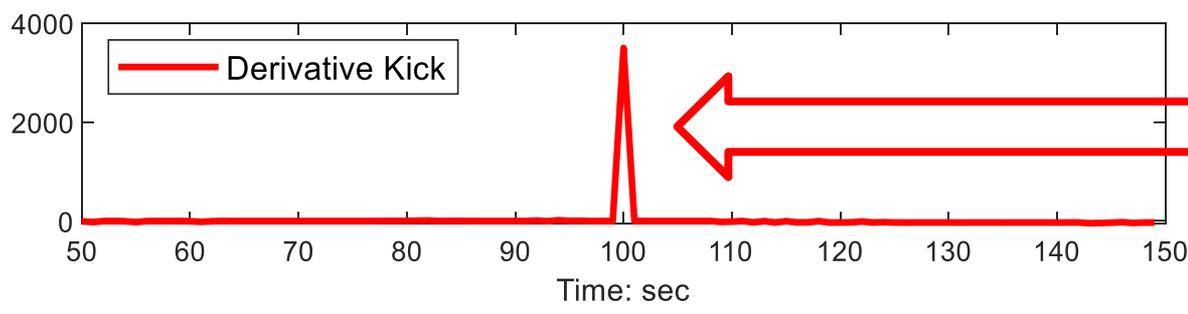
<https://youtu.be/9MfpoHwpwvk>

Controlo Proporcional e Derivativo (PD)

Salto Derivativo (*Derivative Kick*)



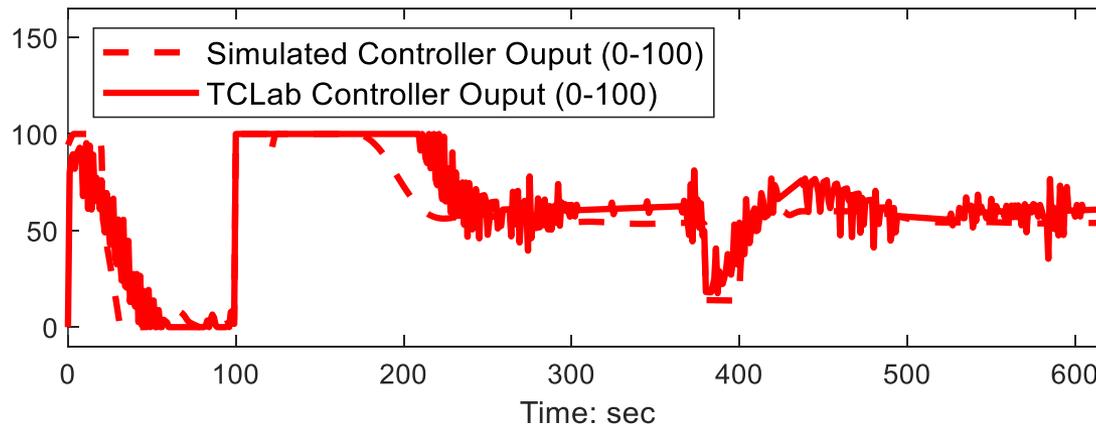
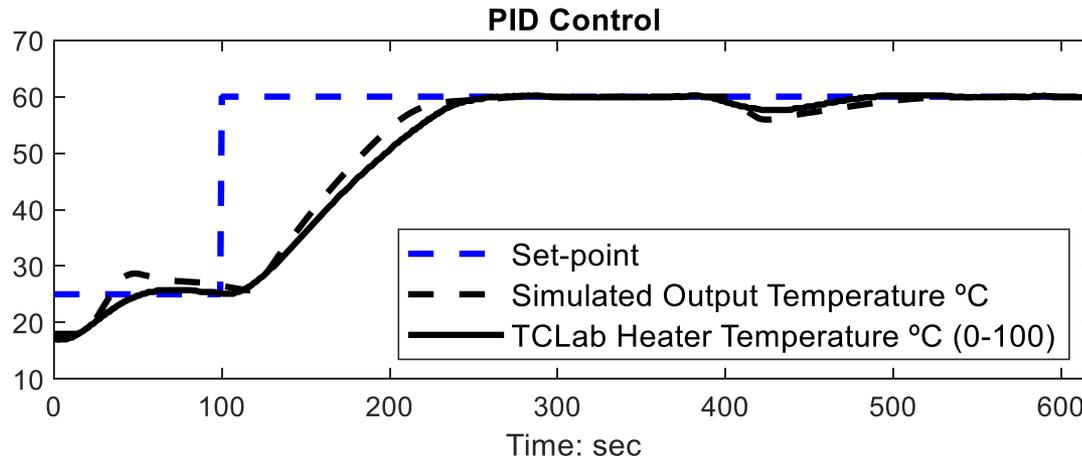
U_d
Sem Salto Derivativo



U_d
Com Salto Derivativo

Simulação usando Modelos Discretos

Regras Sintonia (e.g. Cohen-Coon, AMIGO, etc



- [1] J. D. Hedengren, Temperature Control Lab Kit, <http://apmonitor.com/heat.htm>
- [2] P. B. Moura Oliveira and J. D. Hedengren (2019), An APMonitor Temperature Lab PID Control Experiment for Undergraduate Students <https://ieeexplore.ieee.org/document/8869247>.
- [3] P. B. Moura Oliveira, J. D. Hedengren and J. A. Rossiter (2020), Introducing Digital Controllers to Undergraduate Students using the TCLab Arduino Kit (Accepted to the IFAC-2020 World Congress).
- [4] Moura Oliveira P. B., Hedengren, J. D. e Boaventura Cunha J., (2020), “Bridging Theory to Practice: Feedforward and Cascade Control with TCLab Arduino Kit”, accepted to the CONTROLO-2020, 14th International Conference on Automatic Control and Soft Computing, 12-17 de Julho, Bragança, Portugal.

Mais Info

- ✓ Videos sobre as experiências:



EN

https://www.youtube.com/playlist?list=PLHIMBjz_1_oRBGOinzuhtv4aCrMP1zp

PT

https://www.youtube.com/playlist?list=PLHIMBjz_1_oR5FsAfavUbH3Cdodcq6Mwj

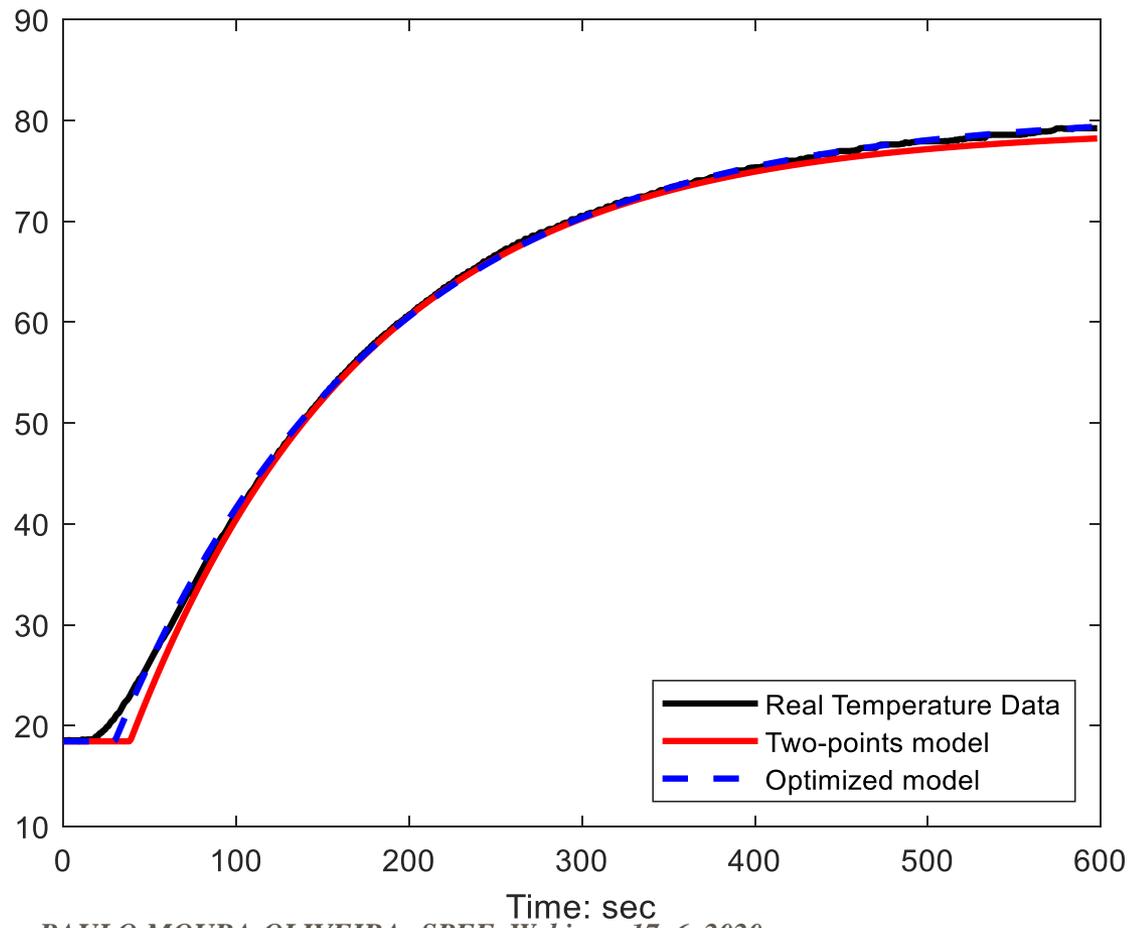


Onde posso encontrar mais informação?



Utilização de um Técnica de Inteligência Artificial

✓ Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO)



$$G_{PSO}(s) = \frac{0.78}{1+152s} e^{-19.7s}$$