



FINAL ASSIGNMENT

CONTENTS

INSTRUÇÕES E PRAZOS	1
PROJECT WORK	2
TASK 1 - SYSTEM MODELLING	2
TASK 2 - SYSTEM ANALYSIS	3
TASK 3 - SYSTEM CONTROL	4

INSTRUÇÕES E PRAZOS

GUIDELINES: O projeto consiste em três tarefas: (i) modelagem, (ii) análise dinâmica e (iii) controle de um sistema dinâmico. Para cada uma dessas tarefas, você deve realizar cálculos teóricos e documentar detalhadamente as etapas seguidas na resolução. Em seguida, compare os resultados obtidos utilizando o ambiente de programação de sua escolha. A entrega do último trabalho deve ser feita em um único documento, que deve incluir [The project consists of three tasks: (i) modelling, (ii) dynamic analysis and (iii) control of a dynamic system. For each of these tasks, you must perform theoretical calculations and report in detail the steps followed in the resolution. Then, compare the results obtained using the programming environment of your choice. The submission of the final work must be made in a single document, which must include]:

- o REPORT: O relatório tem que conter (i) uma breve explicação da base teórica associada a cada exercício; (ii) os passos relevantes dos cálculos, os resultados, os gráficos (quando necessário) e, principalmente, seus comentários sobre os resultados e/ou gráficos [The report must include (i) a brief explanation of the theoretical background associated to each exercise; (ii) the relevant steps of your calculations, the results, the graphs (when required) and especially, your comments on the results and/or graphs].
- o CODE LISTING: O código que você usou para resolver os exercícios. Independentemente da linguagem escolhida, seu código deve ser executável/funcionante. O código (e as funções relevantes, quando necessário) pode ser colado na parte final do relatório (por exemplo, como um apêndice) ou arquivado junto com o relatório em uma pasta .zip. [The code you used to solve the exercises. Regardless of your programming choice, your code must be executable/functioning. The code (and the relevant functions, when needed) can be either pasted at the end of the report (for instance as an appendix) or packaged together with the report as a zip file].

Observe que os recursos encontrados na internet devem ser referenciados adequadamente e que o uso de ferramentas de IA generativa, como o ChatGPT, apenas para copiar as respostas da tarefa não é permitido. Em vez disso, você pode usá-lo como fonte de informação, avaliando criticamente as saídas e o conteúdo que ele produz. Você deve reconhecê-lo citando-o corretamente e, por exemplo, pode considerar incluir a saída da IA generativa em um apêndice do relatório da tarefa² [You can base your resolution on the resources you might find on the web but you must adequately reference to them. Note that the use of generative AI tools, as such as ChatGPT, merely for copying the answers of the assignment is not permitted. Instead, you might like use it as a source of information, critically evaluating the outputs and contents that it produces. You must acknowledge it by citing it correctly and, for instance, you may like to consider including the generative AI output in an appendix of the HW report].

TEAM WORK: Os trabalhos podem ser feitos individualmente ou em dupla [The works can be done individually or in pairs].

DEADLINES: O prazo de entrega final é definidos pelo SIGAA. Envios com atraso serão desconsiderados [The deadline for the final submissions is set in SIGAA. Late submissions will be disregarded].

PROJECT WORK

TASK 1 - SYSTEM MODELLING

Considere o sistema de dois tanques dispostos como mostrado na Figura [Consider the two tanks system arranged as shown in Figure] 1.

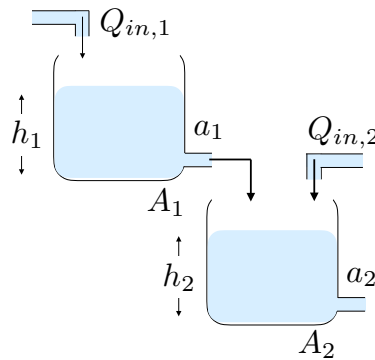


Figure 1: Sistema de dois tanques para o tarefa [Two-tank system for task 1].

As vazões volumétricas $Q_{in,1}$ e $Q_{in,2}$ representam as entradas do sistema, enquanto a variável medida (saída) é o nível de fluido h_2 no segundo tanque. As áreas dos dois

² Texto traduzido por meio do OpenAI ChatGPT (comunicação pessoal, 27 de março de 2023) [Text translated by means of OpenAI ChatGPT (personal communication, March 27, 2023)].

tanques são A_1 e A_2 , enquanto a_1 e a_2 são as áreas dos orifícios indicadas na Figura 1. A vazão $Q_{in,2}$ é uma segunda entrada ao sistema que pode representar uma possível perturbação para o segundo tanque. O fluido é perfeito (sem tensões de cisalhamento, sem viscosidade, sem condução de calor) e sujeito apenas à gravidade³. Os tanques estão cheios de água (fluido incompressível) e a pressão externa é constante (pressão atmosférica) [The volumetric flow rates $Q_{in,1}$ and $Q_{in,2}$ represent the inputs to the system, while the measured variable (output) is the fluid level h_2 in the second tank. The areas of the two tanks are A_1 and A_2 , while a_1 and a_2 are the areas of the orifices indicated in Figure 1. The fluid is perfect (no shear stresses, no viscosity, no heat conduction), and subject only to gravity³. The tanks are filled with water (incompressible fluid), and the external pressure is constant (atmospheric pressure)].

1. Obtenha um modelo de espaço de estados do sistema, onde $x_1(t) = h_1(t)$ e $x_2(t) = h_2(t)$ são variáveis de estado, $u(t) = [Q_{in,1}(t), Q_{in,2}(t)]$ é o vetor das entradas e $y(t) = h_2(t)$ é a saída [Obtain a state-space model of the system, where $x_1(t) = h_1(t)$ and $x_2(t) = h_2(t)$ are state variables, $u(t) = [Q_{in,1}(t), Q_{in,2}(t)]$ is the input vector and $y(t) = h_2(t)$ is the output].
2. Dado $a_1 = a_2 = 0.1 \text{ m}^2$, $A_1 = 20 \text{ m}^2$, $A_2 = 20 \text{ m}^2$, encontre o equilíbrio estado (\bar{x}_1, \bar{x}_2) obtido com uma entrada constante $\bar{u} = [1, 0] \text{ m}^3/\text{s}$, aproximando a aceleração da gravidade como $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ [Given $a_1 = a_2 = 0.1 \text{ m}^2$, $A_1 = 20 \text{ m}^2$, $A_2 = 20 \text{ m}^2$, find the equilibrium state (\bar{x}_1, \bar{x}_2) obtained with a constant input $\bar{u} = [1, 0] \text{ m}^3/\text{s}$, approximating gravity acceleration as $g \approx 10 \text{ m/s}^2$].
3. Determine o sistema linearizado $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D})$ em torno do estado de equilíbrio [Determine the linearised system $(\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{C}, \mathbf{D})$ around the equilibrium state] (\bar{x}_1, \bar{x}_2) .
4. Na linguagem de programação de sua escolha, simule⁴ a resposta de dois sistemas a entrada ao degrau de amplitude A de sua escolha⁵ e discuta seus resultados [In the programming language of your choice, simulate⁴ the two systems response to a input step of amplitude A of your choice⁵ and discuss your results].

TASK 2 - SYSTEM ANALYSIS

O objetivo da segunda tarefa do projeto trabalho é analisar o sistema dinâmico de dois tanques desenvolvido [The objective of the second task of the project work is to analyse

³ A vazão é dada pela lei de Torricelli [The flow rate is given by the Torricelli law]: $q_i(t) = a_i \sqrt{2gh_i(t)}$

⁴ No Matlab/Octave o comando `lsim` pode ser usado para simular o sistema linear e `ode45` para simular o sistema não linear. Da mesma forma, em Python você pode usar, respectivamente, `control.matlab.lsim` e `integrate.ode` especificando o método de integração [In Matlab/Octave you can use the command `lsim` to simulate the linear system and `ode45` to simulate the non-linear system. Similarly, in Python you might use, respectively, `control.matlab.lsim` and `integrate.ode` specifying the integration method].

⁵ Em Matlab/Octave você pode usar o comando `step` e `control.matlab.step` em Python [In Matlab/Octave you might use the `step` command and `control.matlab.step` in Python].

the dynamic two-tank system].

Neste caso, você deve [In this case, you must]:

1. Considerando a função de transferência que descreve o sistema, plote a resposta do sistema de uma entrada degrau de amplitude A , definida com base no seu sistema [Considering the transfer function that describes the input-output system, plot the response of the system of a step input of amplitude A , defined based on your system].
2. Por meio do gráfico da resposta no tempo, encontre, se possível [By means of the time-response plot, find if possible]:
 - ↪ o valor de estado estacionário [the steady-state value].
 - ↪ a porcentagem de sobressinal do valor final [the % overshoot of the final value].
 - ↪ o tempo de subida [the rise time].
 - ↪ o tempo de estabilização [the settling time].
3. Identifique os polos e zeros do modelo linearizado (na configuração de malha aberta). Trace o mapa polo-zero. Analise a estabilidade do sistema estudando o mapa. Discuta o efeito dos polos e zeros na resposta do processo e as informações importantes que você obtém do mapa [Identify the poles and zeros of the linearized model (in the open-loop configuration). Plot the pole-zero map. Analyze the stability of the system by studying the map. Discuss the effect of poles and zeros on the process response and the important information you obtain from the map].
4. Defina as possíveis variáveis manipuladas (entrada) e controladas (saída) e as correspondentes propriedades de controlabilidade e observabilidade do sistema [Define the possible manipulated (input) and controlled (output) variables and the corresponding properties of controllability and observability of the system]¹.

TASK 3 - SYSTEM CONTROL

O objetivo da terceira tarefa do projeto trabalho é projetar um compensador para o sistema dinâmico de dois tanques [The objective of the second task of the project work is to analyse the dynamic two-tank system developed in the first task].

Neste caso, você deve [In this case, you must]:

1. Definir o diagrama de blocos simplificado para o sistema de controle de nível, identificando os blocos para o transmissor de nível, o atuador e o sistema a ser controlado [Define a simplified block diagram for the level control loop, by identifying the blocks for the level transmitter, the actuator and the system to be controlled].

¹ Consulte o Capítulo 12 do Nise para os conceitos de controlabilidade e observabilidade [Refer to Nise's Chapter 12 for the concepts of controllability and observability].

2. Projetar um controlador para obter um erro de estado estacionário de resposta ao degrau de 10% sem afetar a resposta transitória do sistema de forma apreciável [Design a controller to obtain a step-response steady-state error of 10% without affecting the system's transient response appreciably].
3. Simular o sistema com e sem controle usando a linguagem de programação de sua escolha [Simulate the system with and without control using the programming language of your choice].
4. Comentar suas escolhas e os resultados [Comment your choices and the results].