



CONCURSO ITA 2025
EDITAL: 01/ITA/2025
CARGO: PROFESSOR

PERFIL: MS-36

CADERNO DE QUESTÕES

1. Esta prova tem duração de **4 (quatro) horas**.
2. Você poderá usar **apenas** caneta esferográfica de corpo transparente com tinta preta, lápis ou lapiseira, borracha, régua transparente simples e compasso. **É proibido portar qualquer outro material escolar ou equipamento eletrônico.**
3. Você recebeu este **caderno de questões e um caderno de respostas** que deverão ser devolvidos ao final do exame.
4. O caderno de questões é composto por **4 (quatro) questões dissertativas**.
5. As **questões dissertativas devem ser respondidas exclusivamente no caderno de respostas**. Responda sequencialmente as questões, usando caneta preta.
6. **É obrigatória a devolução do caderno de questões e do caderno de respostas**, sob pena de desclassificação do candidato.
7. **Aguarde o aviso para iniciar a prova. Ao terminá-la, avise o fiscal e aguarde-o no seu lugar.**

Questão 1 (30 Pontos)

No sistema eletromecânico ilustrado na Figura 1, são identificadas as seguintes variáveis físicas e parâmetros: θ_0 é o ângulo de saída; v_{in} é a tensão elétrica de entrada; v_a é a tensão elétrica na saída do amplificador linear ($v_a = K_a v_{in}$) de ganho K_a (sem constante de tempo significativa); i_a é a corrente elétrica no circuito de armadura (a) do motor e i_f corrente no seu circuito de campo (f), assumida constante; L_a é a indutância elétrica e R_a é a resistência elétrica do enrolamento da armadura; J é momento de inércia da carga e β é a constante de amortecimento viscoso do mancal com comportamento do tipo $T_\beta = \beta \dot{\theta}_0$, onde T_β é o torque resistivo; T é o torque do motor dado por $T = K_T i_a$, onde K_T é a constante de torque e K_v é a constante de força contra eletromotriz ($v = K_v \dot{\theta}_0$).

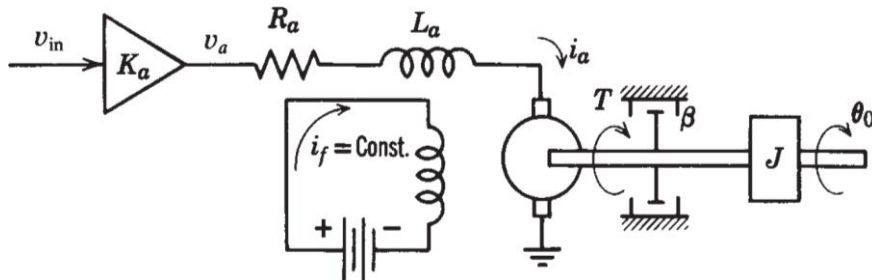


Figura 1: Esquema de sistema eletromecânico (Fonte: KARNOPP, D.; MARGOLIS, D.; ROSENBERG, R., System dynamics: modeling, simulation, and control of mechatronic systems, 5 ed, Wiley, 2012).

As equações diferenciais que governam a dinâmica desse sistema são as seguintes:

$$J \frac{d^2 \theta_0}{dt^2} + \beta \frac{d\theta_0}{dt} = T, \text{ com } T = K_T i_a \quad (\text{I})$$

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a = K_a v_{in} - K_v \frac{d\theta_0}{dt} \quad (\text{II})$$

- Encontre o grafo de ligação (*Bond Graph*) desse sistema detalhando os passos empregados. Em termos da convenção utilizada na teoria de grafos de ligação, esse sistema é de 3ª ou 2ª ordem? Justifique sua resposta.
- Mostre como as equações (I)-(II) podem ser obtidas a partir do grafo obtido em (a).
- Coloque as equações no formato de espaço de estados, $\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{U}$ e $\mathbf{Y} = \mathbf{C}\mathbf{X} + \mathbf{D}\mathbf{U}$, considerando o vetor de estados $\mathbf{X} = [\dot{\theta}_0 \quad i_a]^T$ e vetor de entrada $\mathbf{U} = [v_{in}]$.
- Supondo que o mancal possui comportamento não linear ($T_\beta = \beta \dot{\theta}_0^2$) e utilizando uma expansão em Série de Taylor, sugira uma linearização para o modelo em torno de um ponto de equilíbrio $\dot{\theta}_0$. Qual a relação com as equações (I)-(II)?
- Considerando a equação dinâmica do circuito do enrolamento de campo dada por $L_f \frac{di_f(t)}{dt} + R_f i_f(t) = V_f(t)$, com resistência elétrica R_f , indutância L_f e tensão elétrica da fonte $V_f(t)$, discretize utilizando o método de Euler e obtenha a equação a diferenças (regressivas) e aplique a transformada Z para obtenção de $H(z) = I_f(z)/V_f(z)$. Justifique sua resposta.

Questão 2 (20 Pontos)

Considere a Figura 2, em que a entrada $x(t)$ de um sistema, descrito por sua resposta impulsiva $h(t)$, produz a saída $y(t)$.

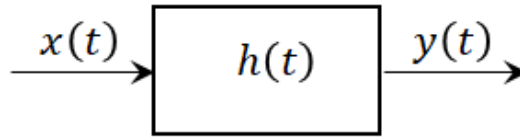


Figura 2: Sistema dinâmico em tempo contínuo.

Para esse sistema dinâmico a tempo contínuo, a resposta impulsiva (para um impulso aplicado no instante $t = 0$ com condições iniciais nulas) é dada por:

$$h(t) = \omega_n \sin(\omega_n t) u(t)$$

em que $u(t)$ é a função degrau unitário: $u(t) = 1$, para $t \geq 0$ s, e 0, para $t < 0$ s.

Justifique, com o maior rigor e detalhamento possíveis:

- (a) A partir de $h(t)$, determine $H(s)$ e a função de resposta em frequência (FRF) $H(j\omega)$ e, em seguida, escreva a respectiva EDO de entrada-saída correspondente à dinâmica do sistema dado. Qual é a interpretação física usual de uma FRF?
- (b) Considere zero qualquer sinal de amplitude menor que 0,1. Suponha que o sistema seja excitado pelo sinal

$$x(t) = \sin(0,1 \cdot \omega_n t) + \sin(20 \cdot \omega_n t)$$

e que sua resposta $y(t)$, a saída do sistema, seja discretizada com frequência de amostragem $\omega_s(t) = 25\omega_n$ (rad/s). Justifique, do ponto de vista prático, se ocorrerá o fenômeno de *aliasing* nesse processo de amostragem.

- (c) Suponha que esse sistema físico, conectado a uma placa de aquisição de dados, adquira amostras da resposta $y(t)$ com período de amostragem T . Considere que a representação analógica (a tempo contínuo) do sinal amostrado, denotado por $y_s(t)$, seja dada por:

$$y_s(t) = y(t) \cdot p(t)$$

em que $p(t)$ é o trem de impulsos dado por

$$p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT)$$

onde $\delta(t)$ denota a função delta de Dirac (impulso unitário). Assim, responda:

- (I) Sendo $Y_s(\omega)$ o espectro de $y_s(t)$ e $Y(\omega)$ o espectro de $y(t)$, qual é a relação entre ambos os espectros?
- (II) Suponha que o espectro $Y_s(\omega)$ seja discretizado (o que de fato se verifica num sistema digital de aquisição e processamento de dados), o que ocorre com o respectivo sinal no domínio do tempo?
- (III) Associando aos itens (I) e (II) acima, discuta os efeitos de *aliasing* e de *leakage*/vazamento, indicando em quais etapas esses efeitos podem ocorrer.

Questão 3 (30 Pontos)

Considere a seguinte resposta temporal (Figura 3) obtida de um sistema linear invariante no tempo de 2ª ordem composto por massa-mola-amortecedor (m, k, c) , governado pela equação diferencial $m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t)$, que foi submetido a uma entrada do tipo degrau $F(t) = 1$ N, com condições iniciais nulas $\dot{x}(0) = 0$ m/s e $x(0) = 0$ m.

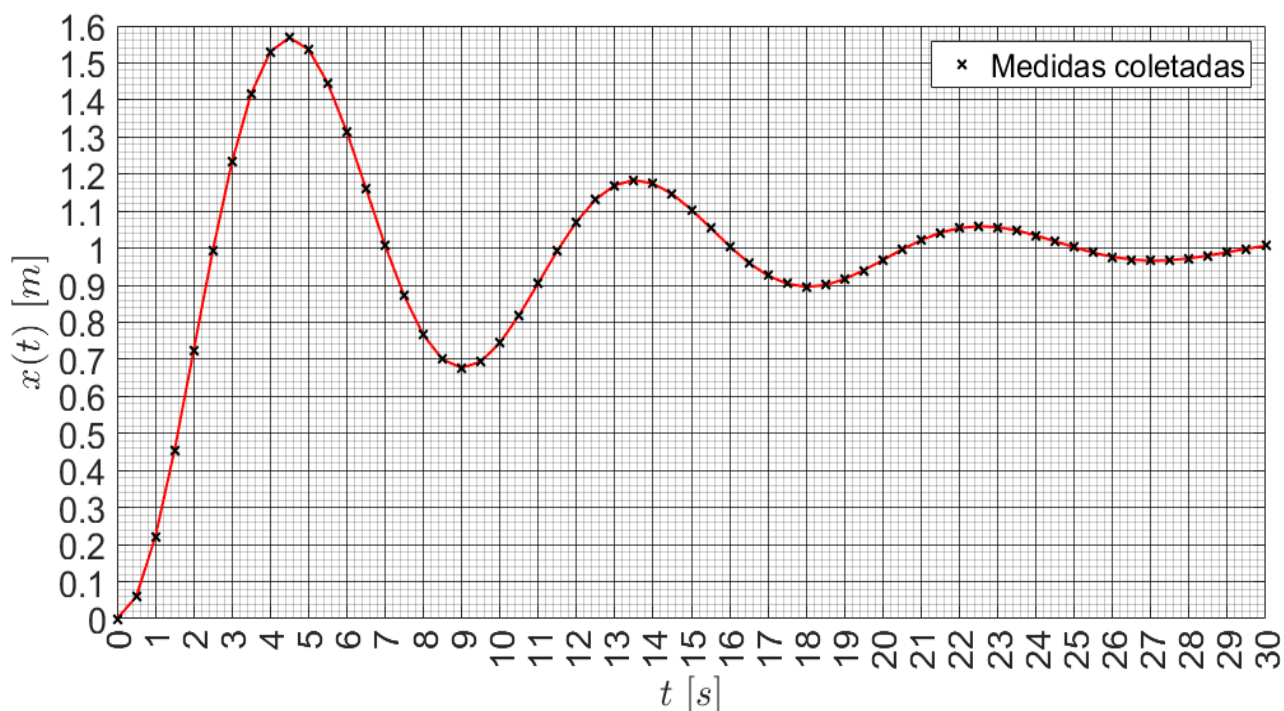


Figura 3: Resposta temporal de um sistema massa-mola-amortecedor a uma entrada degrau $F(t) = 1$ N.

- (a) Identifique o modelo encontrando os valores de seus parâmetros físicos (m, k, c) , de acordo com os dados fornecidos pela curva do gráfico da Figura 3.
- (b) Levando em consideração o conjunto de dados de entrada-saída $z_n = \{F_n, x_n\}$, onde $F_n = F(nT)$, $x_n = x(nT)$, com T sendo o intervalo de amostragem e $n = 0, 1, \dots, N$, em que N é o número total de amostras, explique o que poderia ser feito para realizar uma identificação não-paramétrica da resposta ao impulso desse sistema.

Nota: Aproximações de valores podem ser utilizadas para facilitar os cálculos.

Formulário para Questão 3.

Parâmetro	Equação
Frequência natural amortecida (ω_d)	$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$
Tempo de pico (t_p)	$t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$
Tempo de acomodação (t_s)	$t_s = 3T$ (critério de 5%)
Constante de tempo da envoltória (T)	$T = \frac{1}{\zeta \omega_n}$
Fator de amortecimento (ζ)	$\zeta = c / (2\sqrt{km})$

Questão 4 (20 Pontos)

Almejando um certo de nível de abstração voltado à análise do comportamento lógico de um sistema de desacoplamento dos dois estágios de um foguete, o formalismo de modelagem por autômatos finitos foi empregado para representar, em uma estrutura de transições de estados, o processo investigado. Conforme indicado abaixo, foram obtidos: o autômato G_1 , para representar o processo de desacoplamento do Estágio 1; e o autômato G_2 para representar o processo de desacoplamento do Estágio 2.

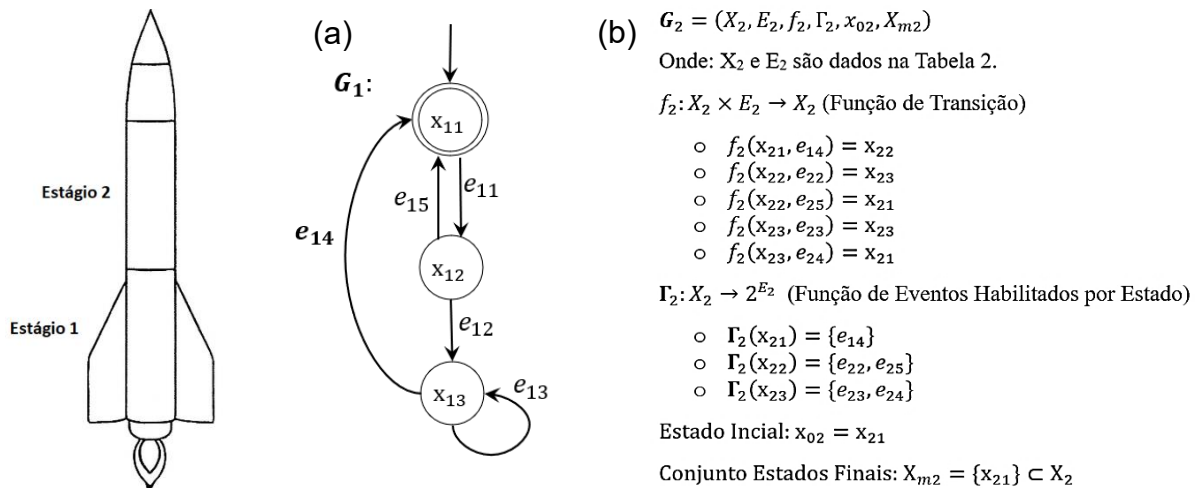


Figura 4: (a) modelo (gráfico) do autômato G_1 - Estágio 1; (b) modelo (formal) do autômato G_2 - Estágio 2.

Tabela 1. Elementos do Modelo G_1 .

Autômato G_1	
Conjunto de Eventos E_1	Conjunto de Estados X_1 (x_{1x})
$e_{11} = \text{armar 1}$	$x_{11} = \text{Pré-Ignição 1 (Idle)}$
$e_{12} = \text{ignição 1}$	$x_{12} = \text{Armado 1}$
$e_{13} = \text{operar 1}$	$x_{13} = \text{Ativo 1}$
$e_{14} = \text{confirmar 1}$	-
$e_{15} = \text{abortar 1}$	-

Tabela 2. Elementos do modelo G_2 .

Autômato G_2	
Conjunto de Eventos E_2	Conjunto de Estados X_2 (x_{2x})
$e_{14} = \text{confirmar 1}$	$x_{21} = \text{Pré-Ignição 2 (Idle)}$
$e_{22} = \text{ignição 2}$	$x_{22} = \text{Armado 2}$
$e_{23} = \text{operar 2}$	$x_{23} = \text{Ativo 2}$
$e_{24} = \text{confirmar 2}$	-
$e_{25} = \text{abortar 2}$	-

- (a) Proponha uma representação gráfica do autômato G_2 . Em algumas literaturas, a linguagem marcada por um autômato representa o subconjunto de cadeias de eventos sequenciais (também chamadas de “palavras”) que, ao serem apresentadas para o autômato, permitem que ele parta do seu *estado inicial* e alcance um *estado final* $x \in X_m$. Identifique, para o autômato G_2 , pelo menos uma cadeia de eventos desse tipo que possua mais do que dois eventos sequenciais.
- (b) Proponha uma estrutura de Rede de Petri Marcada que represente a dinâmica de G_1 , definindo uma marcação adequada que reproduza o seu estado inicial. Sugira uma simulação dessa Rede de Petri considerando o disparo de duas transições consecutivas a partir do estado inicial: indique as transições habilitadas e o *vetor de estados* x (o vetor que contém o número de *tokens* em cada lugar após cada transição) resultante após cada disparo. Descreva as considerações empregadas na sua análise.

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho

Rascunho