

# BANCADA PARA IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PARÂMETROS DE UMA MÁQUINA ELÉTRICA

Anderson Silva, João Daniel Klein, Valner Brusamarello  
anderson.silva@ufrgs.br, joodanield@gmail.com, brusamarello.valner@gmail.com



A bancada aqui desenvolvida permite que sejam ensaiados motores de corrente contínua e com isso estimar os parâmetros de seu modelo: indutância e resistência do enrolamento, constante de força contra-eletromotriz, inércia, constante de torque e constante devido ao atrito. O sistema permite controlar o acionamento do motor e das cargas mecânicas. O hardware realiza leituras instantâneas durante o teste e as envia para um computador PC, onde os dados são devidamente tratados, através do software Matlab. Os resultados encontrados com testes reais, quando aplicado uma excitação tipo salto, demonstraram consistência da estimativa.

**Introdução:** A identificação de parâmetros mecânicos e elétricos de motores são de grande necessidade para empresas que trabalham com o seu desenvolvimento ou manutenção assim como laboratórios de pesquisa em instituições de ensino. Com os parâmetros do modelo do motor também é possível verificar a eficiência do mesmo, detalhe que é de extrema importância em sistemas que necessitam de autonomia e otimização de consumo. Pensando nisso, desenvolveu-se uma bancada para ensaio de motores DC, que, baseando-se nas equações de estado que descrevem o seu funcionamento e no método dos mínimos quadrados recursivos, permite fazer uma estimativa dos seus principais parâmetros.

**Metodologia e procedimento experimental:** Na bancada, um gerador é acoplado ao eixo do motor objeto dos testes. A saída desse gerador é conectada a cargas resistivas, selecionadas pelo usuário, a fim de se obter uma carga mecânica no eixo do motor.

O circuito que fica junto à bancada, permite a aquisição dos dados de interesse, tais como corrente e tensão aplicadas à entrada, torque instantâneo e rotação. Além disso, faz o controle da tensão aplicada e das cargas resistivas, conforme determinação do usuário. A figura 1 mostra a base do sistema, com o motor em teste, o gerador (carga mecânica), o taco-gerador e a célula de carga utilizada para determinação do torque.

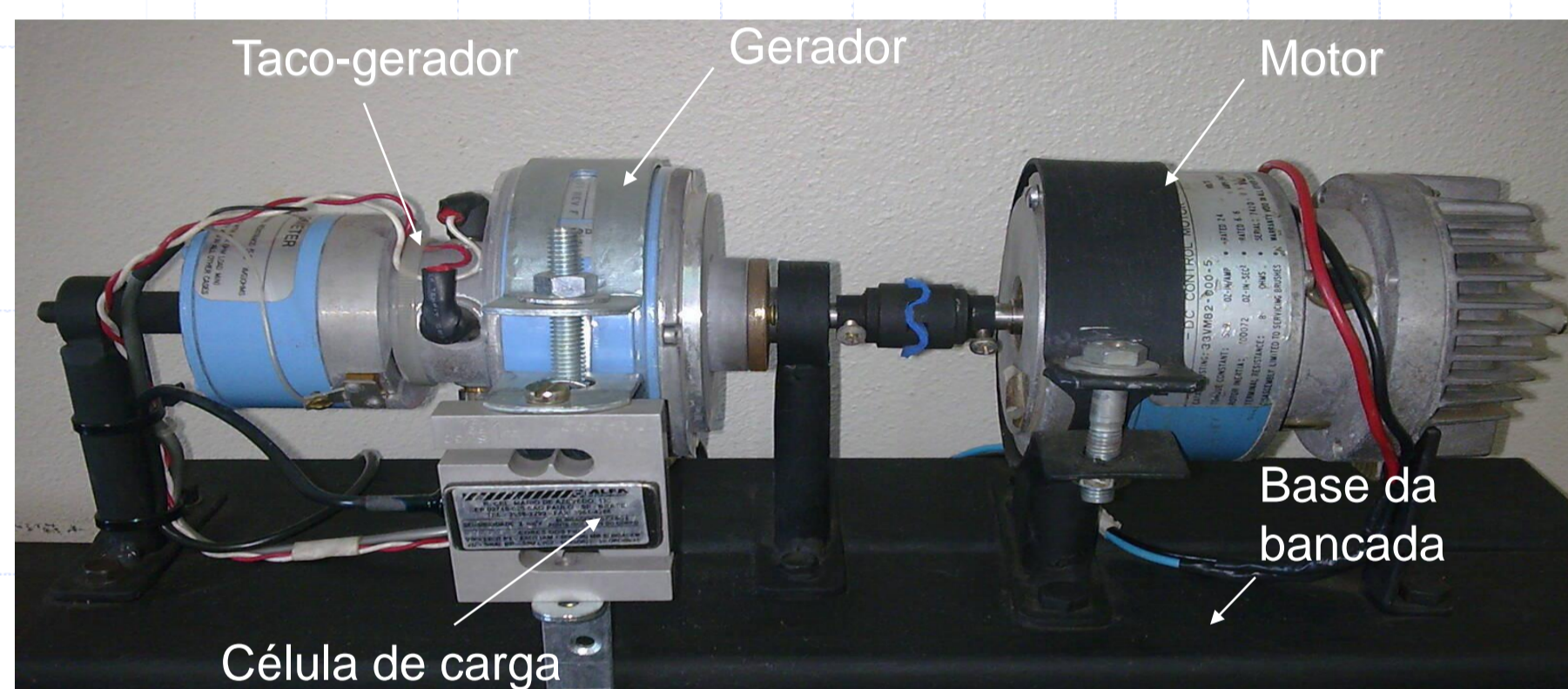


Figura 1 – Estrutura da bancada de testes

O sistema de equações (1) apresenta o modelo dinâmico de um motor DC através de sistemas de equações de primeira ordem. Os parâmetros  $L$ ,  $R$ ,  $K_b$ ,  $J$ ,  $K_t$  e  $b$  representam a indutância e a resistência do enrolamento, a constante de força contra-eletromotriz, a inércia, a constante de torque do motor e a constante devido ao atrito, respectivamente.

$$\begin{cases} L \frac{di}{dt} = -Ri(t) - K_b \omega(t) + v(t) \\ J \frac{d\omega}{dt} = K_t i(t) - b\omega(t) \end{cases} \quad (1)$$

Os resultados dos testes foram então filtrados digitalmente e submetidos às equações do modelo apresentado em (1). Este modelo também pode ser escrito na forma de equações de estado discretizada, como ocorre em (2).

$$\begin{bmatrix} \omega_k \\ i_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -i_k + i_{k-1} + 0 + 0 + v_k \\ 0 + 0 + \omega_k - \omega_{k-1} + 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \left( R + \frac{L}{T} \right) \frac{1}{K_b} \\ \left( \frac{L}{TK_b} \right) \\ \left( \frac{J}{TK_b} + \frac{b}{K_b} \right) \\ \left( \frac{J}{TK_b} \right) \\ \frac{1}{K_b} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Que podem ser simplificadas por:  $Y = \varphi \cdot \theta$

Tendo-se inúmeros conjuntos de dados de tensão, corrente e rotação, deseja-se obter os demais parâmetros. A fim de encontrar os melhores valores e minimizar o erro, utilizou-se o método dos mínimos quadrados recursivos. Neste método, uma vez calculada a estimativa a partir de alguns pontos, ela é continuamente ajustada mediante a entrada de novos parâmetros. Desta forma, o valor do vetor  $\theta$  pode ser estimado através de várias iterações com o conjunto de equações (3).

Inicialmente foram determinados os parâmetros mecânicos do gerador ( $J$  e  $b$ ), de modo que os mesmos são subtraídos dos parâmetros do motor.

$$\begin{aligned} K_k &= \frac{P_{k-1} \varphi_k}{\varphi_k^T P_{k-1} \varphi_k + 1} \\ \bar{\theta}_k &= \bar{\theta}_{k-1} + K_k [y(k) - \varphi_k^T \bar{\theta}_{k-1}] \\ P_k &= P_{k-1} - K_k \varphi_k^T P_{k-1} \end{aligned} \quad (3)$$

**Resultados obtidos:** Os parâmetros  $L$ ,  $R$ ,  $K$ ,  $J$  e  $b$  de um motor sob teste foram estimados e posteriormente utilizados como parâmetros de entrada em simulação computacional de um motor DC. Dessa forma, as curvas de resposta a uma excitação do tipo degrau foram comparadas àquelas obtidas pelo sistema real, a fim de verificar se havia consistência dos resultados.

	$\bar{X}$	$\sigma$
<b>K</b>	$4,11 \cdot 10^{-2}$	$7,18 \cdot 10^{-4}$
<b>b</b>	$1,39 \cdot 10^{-4}$	$3,12 \cdot 10^{-5}$
<b>R</b>	$8,33 \cdot 10^{-1}$	$1,88 \cdot 10^{-2}$
<b>L</b>	$3,26 \cdot 10^{-4}$	$2,08 \cdot 10^{-4}$
<b>J</b>	$4,32 \cdot 10^{-6}$	$3,99 \cdot 10^{-7}$

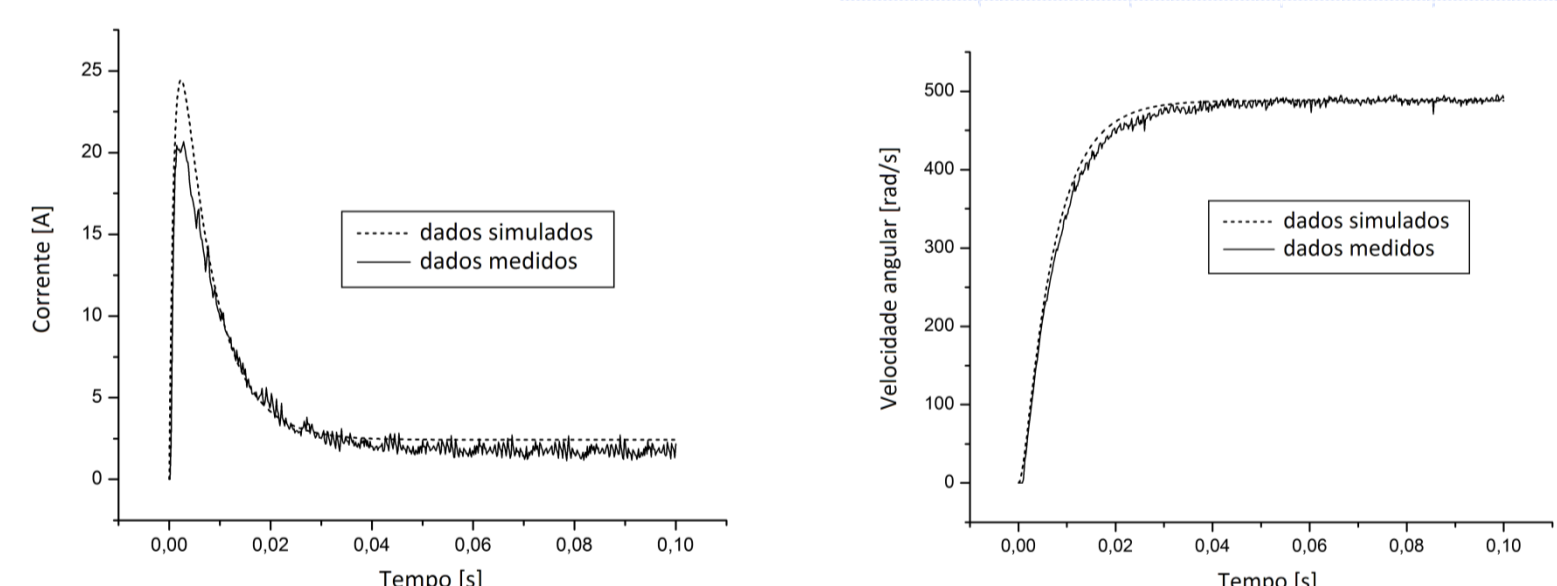


Figura 2 – Gráficos de ensaio de um motor.

Na figura 2 estão representadas as curvas de corrente e velocidade angular obtidas com o ensaio prático do motor, e os resultados obtidos na simulação a partir dos valores dos parâmetros estimados. Esses resultados demonstram que mesmo com a presença de ruído, os parâmetros estimados com o método dos MQ podem descrever o modelo do motor DC consistentemente.

**Conclusões:** Através de um aparato eletrônico e um computador, foi possível adquirir os dados de corrente, tensão e rotação em um motor DC. Esses dados foram então filtrados e tratados com o software Matlab. Utilizando-se as equações de estados que descrevem o funcionamento de uma máquina DC e o método dos mínimos quadrados recursivos, obteve-se os parâmetros do modelo dinâmico dessa máquina, os quais foram comparados com valores simulados e livres de ruído. Os resultados encontrados mostraram consistência entre dados reais e simulados.

## Referências Bibliográficas:

- Aguirre, Luis A. – Introdução à Identificação de Sistemas – Editora UFMG;
- Balbinot, A.; Brusamarello, V. – Instrumentação e Fundamentos de Medidas – Editora LTC
- Saab, S.; Kaed-Bey, R. – Parameter Identification of a DC Motor: Na Experimental Approach – IEEE 2001
- Basilio, J.; Moreira, M. – Experimentos para Estimação dos Parâmetros de Motores de Corrente Contínua – Cobenge 2001