https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2020

Controle *neuro-fuzzy* aplicado a sistemas mecânicos

Neuro-fuzzy control applied to mechanical systems

Letícia Basso
leticiabasso1@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Alexandre Mada
mitsuomada82@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

Edson Koroishi
edsonh@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

RESUMO

Vibrações em sistemas mecânicos são um entrave para a engenharia. Nesse contexto foram realizados estudos que podem solucionar tal problema em diversas modalidades. Utilizando a técnica do controle ativo de vibrações (AVC) em uma bancada de dois graus de liberdade, foram desenvolvidos e testados na teoria e na prática programas com controladores por alocação de polos Fuzzy e Neuro-Fuzzy. Os resultados adquiridos com os programas foram todos satisfatórios e a escolha de um deles deve ser feita com base no que o sistema pede. No caso da mesa de dois graus o Fuzzy se mostrou eficaz. Por motivos exteriores não foi possível realizar a programação do sistema e nem experimentos com o Neuro-Fuzzy.

PALAVRAS-CHAVE: Controle. Engenharia. Vibrações.

ABSTRACT

Vibrations in mechanicals systems are an obstacle for engineering. In this context, studies have been carried out that can solve this problem in several modalities. Using the active vibration control (AVC) technique in a two degrees of freedom system, programs with Fuzzy and Neuro-Fuzzy pole allocation controllers were developed and tested in theory and practice. The results obtained with the programs were all satisfactory and the choice of one of them must be made based on what the system asks for. In the case of the two degrees of freedom table, the Fuzzy proved to be effective. For external reasons, it was not possible to carry out system programming or experiments with Neuro-Fuzzy.

KEYWORDS: Control. Engineering. Vibrations.

Recebido: 19 ago. 2020.
Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

INTRODUÇÃO

Vibrações mecânicas geralmente não são bem-vindas no mundo da engenharia, as causas por esse acontecimento são inúmeras e as consequências maiores ainda. De acordo com Silva (2009), vibrações e ruídos em grandes quantidades podem comprometer o funcionamento de sistemas mecânicos, diminuindo sua vida útil e até gerando problemas para aqueles que estão em contato com tal equipamento, portanto, analisar e impedir/controlar tais vibrações e ruídos é essencial na engenharia moderna.

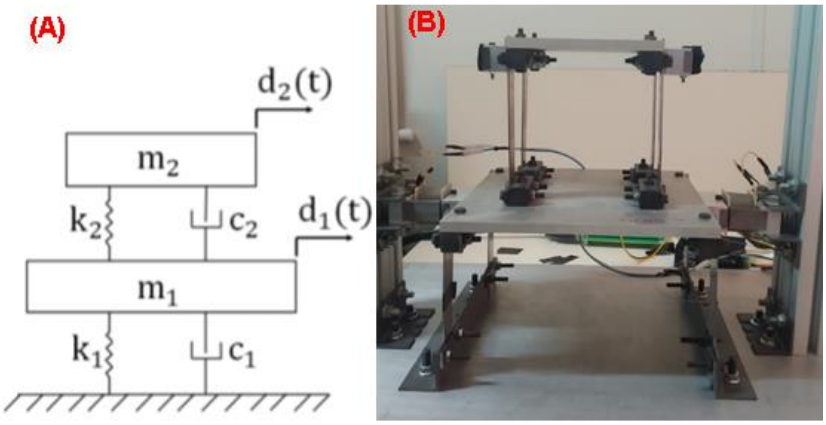
Em termos de sistemas de controle, vale ressaltar que ele pode ser classificado em malha fechada e em malha aberta e dentre as técnicas de Controle de Vibrações cabe destacar o Controle Ativo de Vibrações (AVC – do inglês Active Vibration Control), que possui uma malha de controle composta por atuadores, sensores, amplificadores e controladores.

Neste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de aplicar o controle ativo de vibrações em uma estrutura mecânica composta de dois graus de liberdade. Para a simulação numérica, foram desenvolvidos programas computacionais com o auxílio do software MATLAB®.

MATERIAIS E MÉTODOS

A bancada estudada consiste de um sistema de 2 graus de liberdade, composto por duas massas de valores m_1 e m_2, duas molas com constantes de rigidez k_1 e k_2 e dois amortecedores com constantes de amortecimento c_1 e c_2, assim como ilustrado na figura abaixo.

Figura 1 – (A) Modelo esquemático da bancada, (B) Imagem real da bancada



Fonte: (A) REPINALDO (2018), (B) autoria própria (2020).

O modelo matemático do sistema é representado na forma de Espaço de Estados:

$$\{x\} = [A]\{x\} + [B]\{F\} + [Bc]\{Fc\} \quad (1)$$

$$\{y\} = [C]\{x\} \quad (2)$$

Onde [A] é a matriz de estados, [B] é a matriz de entrada da força de excitação, [Bc] é a matriz de entrada da força de controle e [C] é a matriz de saída.

Se um sistema de malha fechada possuir um estado totalmente controlável, um método que pode ser utilizado para aplicar o controle é a alocação dos polos. Ele permite alocar os polos do sistema para qualquer posição requerida, isso ocorre por meio da realimentação de estados, inserindo uma matriz de ganho [G] com um valor adequado (OGATA, 2010). Essa matriz é aquela que realimenta o sistema para que ele fique estável e existem diversas maneiras para descobrir quais são os valores dessa matriz, uma delas é usando a fórmula de Ackermann, o Software MATLAB® possui uma ferramenta para chegar nessa matriz com o comando *acker.m*.

Outro sistema de controle abordado foi o *Fuzzy*, que se baseia em regras que imitam decisões humanas, ele utiliza um modelo lógico de informações que irão imitar o raciocínio de um operador humano ao manipular o sistema. As regras criadas no sistema são baseadas em experiências e não em suposições matemáticas, tais regras são manipuladas da forma ‘‘SE – ENTÃO’’.

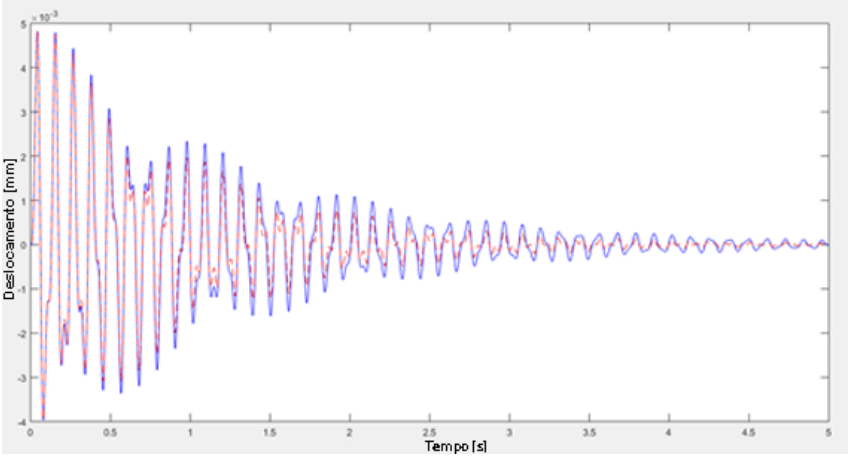
E por fim a modelagem chamada *Neuro-Fuzzy*, que se trata de um sistema hibrido incorporado, ela é formada pela junção de redes neurais artificiais com o sistema *Fuzzy* apresentado anteriormente. Sendo assim, ela utiliza as melhores qualidades de ambos os sistemas, a capacidade de tomada de decisões complexas e aprendizagem da rede neural e o modelo lógico *Fuzzy*, gerando um sistema com uma grande capacidade de processamento. Existem algumas maneiras para modelar um sistema *Neuro-Fuzzy*, uma delas é pelo *Software* MATLAB® utilizando o comando *anfis.m*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de visualizar como a alteração dos fatores de amortecimento influenciam no sistema, foram realizadas simulações utilizando a alocação de polos, a partir do qual foram gerados diversos gráficos possibilitando a comparação das diferentes consequências do amortecimento na bancada.

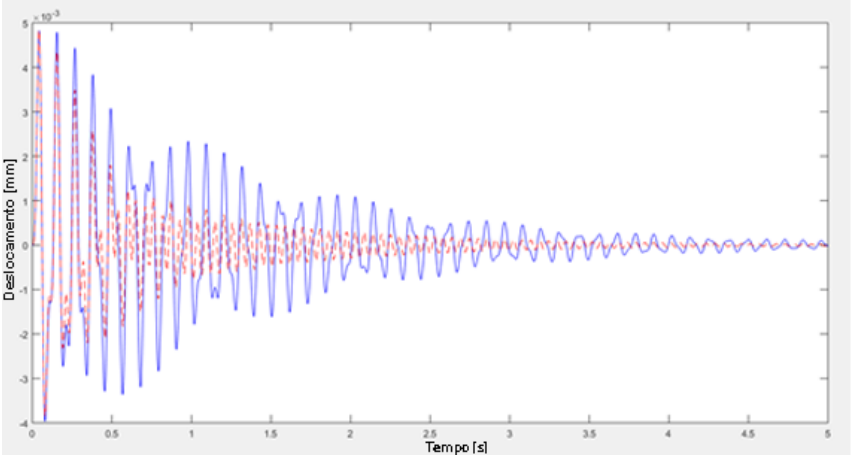
Para fins de ilustração, são apresentados alguns resultados obtidos nesta análise. As linhas vermelhas são as que possuem amortecimento, as azuis são do sistema sem amortecimento.

Figura 2 – Exemplo teórico do sistema considerando fatores de amortecimento de 0,0201 e 0,0077.



Fonte: autoria própria (2020).

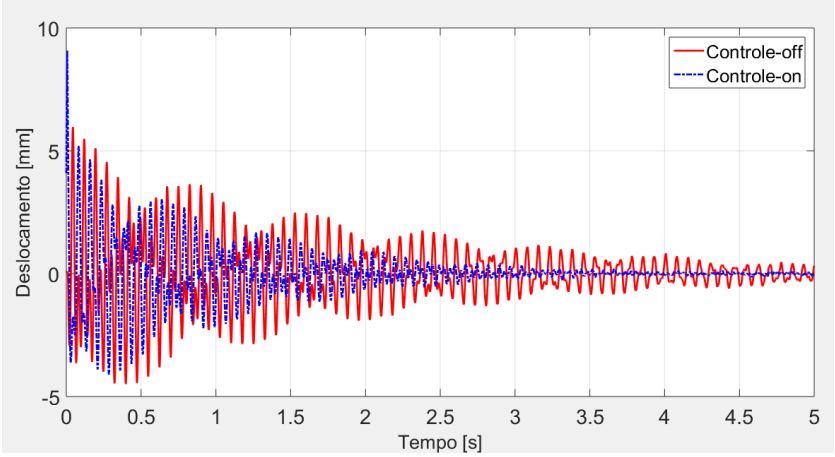
Figura 3 – Exemplo teórico do sistema considerando fatores de amortecimento de 0,0646 e 0,0077.



Fonte: autoria própria (2020).

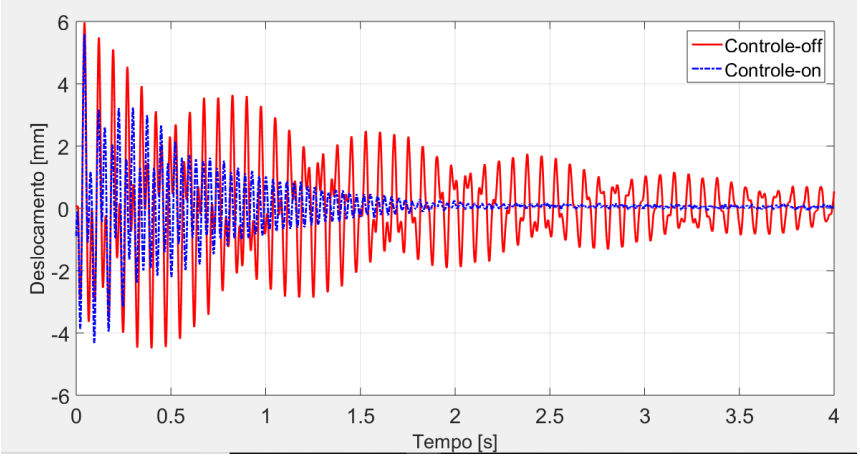
Comparando com os dados experimentais:

Figura 4 – Controle considerando fatores de amortecimento de 0,0201 e 0,0077.



Fonte: autoria própria (2020).

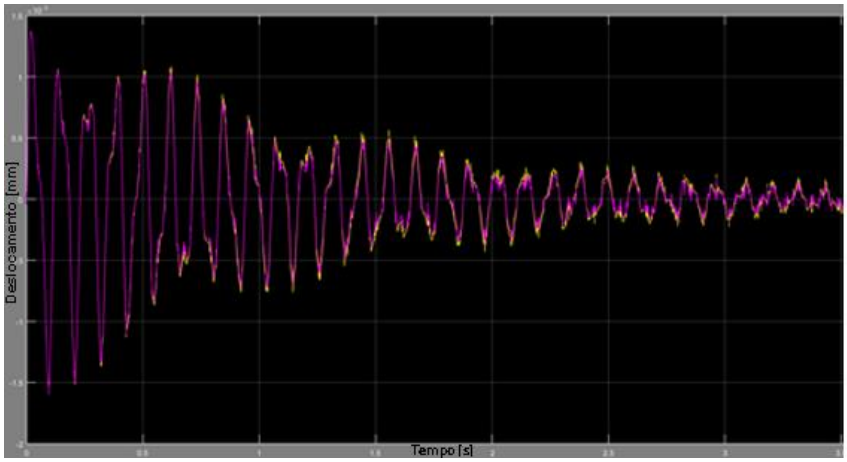
Figura 5 – Controle considerando fatores de amortecimento de 0,0646 e 0,0077.



Fonte: autoria própria (2020).

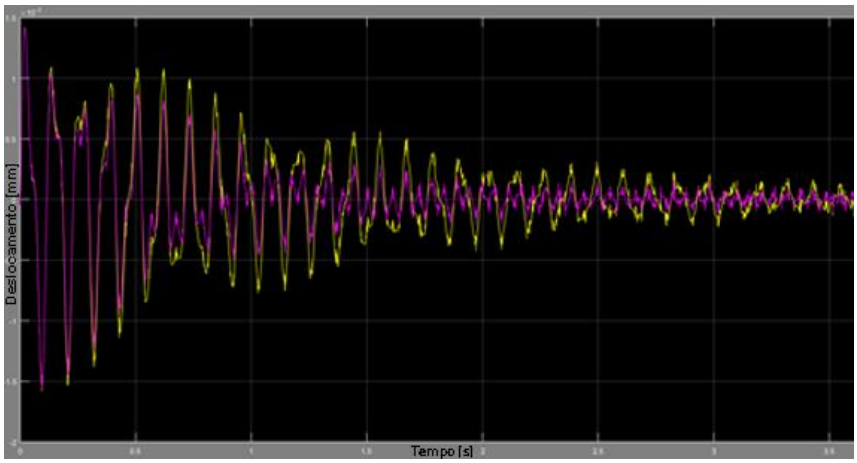
Após essa demonstração foram iniciados os estudos com o controlador *Fuzzy*.

Figura 6 - Exemplo teórico do sistema considerando fatores de amortecimento de 0,0202 e 0,0077.



Fonte: autoria própria (2020).

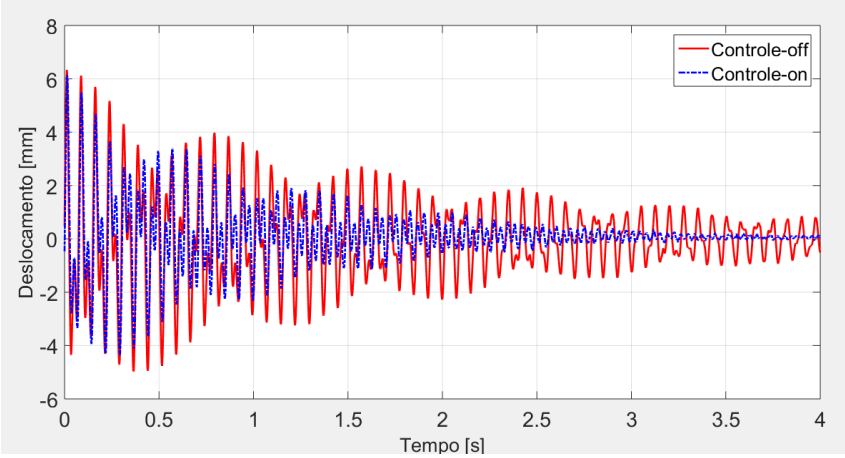
Figura 7 - Exemplo teórico do sistema considerando fatores de amortecimento de 0,0646 e 0,0077.



Fonte: autoria própria (2020).

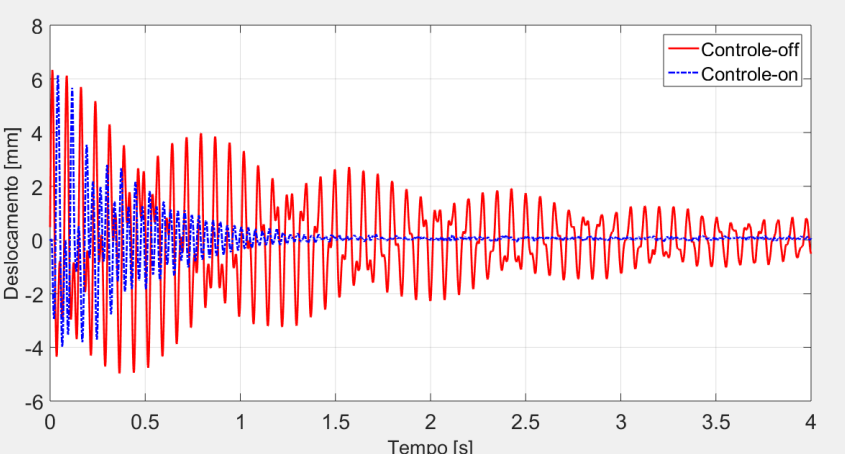
Comparando com os dados experimentais do controlador *Fuzzy.*

Figura 8 – Controle *Fuzzy* considerando fatores de amortecimento de 0.0202 e 0.0077.



Fonte: autoria própria (2020).

Figura 9 - Controle *Fuzzy* considerando fatores de amortecimento de 0.0646 e 0.0077.



Fonte: autoria própria (2020).

CONCLUSÃO

O objetivo do presente trabalho era inserir o controle *neuro-fuzzy* em uma bancada experimental de dois graus de liberdade, porém a iniciação cientifica foi interrompida na metade de seu período. Sendo assim, não foi possível fazer a programação do sistema e nem sua aplicação.

Mas, para cumprir esse objetivo eram necessários uma sequência de fatores, entre eles o conhecimento do *software* MATLAB® e conhecimentos específicos sobre o controle de vibrações. E foi sobre esses conhecimentos que esse trabalho se tratou.

Os métodos experimentais apesar de possuírem certas interferências, apresentaram no final um resultado satisfatório, onde o método *Fuzzy* se mostrou eficiente para exercer o controle da mesa de dois graus de liberdade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela incrível oportunidade, ao meu orientador Edson Koroishi e aos meus colegas Alexandre Mitsuo e John Amadio por todo apoio que me deram, confiança e paciência.

REFERÊNCIAS

KOROISHI, E. H. **Controle de vibrações em máquinas rotativas utilizando atuadores eletromagnéticos**. 2013. 221 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14731/1/ControleVibracoesMaquinasparte1.pdf. Acesso em: 29 jan. 2020.

OGATA, K. **Engenharia de controle moderno**. 5. ed. Pearson, 2010. 822 p.

REPINALDO, J. P. **Controle modal aplicado a uma estrutura de 2 graus de liberdade utilizando atuadores eletromagnéticos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Mecânica) –Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2018.

SILVA, S. **Vibrações mecânicas**. 2. ed. Foz do Iguaçu: Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Cece, 2009. 151 p. Disponível em: http://www.joinville.ifsc.edu.br/~pauloboni/MECANISMOS/DIN%C3%82MICA%20DE%20M%C3%81QUINAS/Apostila%20-%20Samuel%20da%20SIlva%20-%20MUITO%20BOA%20-%20Did%C3%A1tica.pdf. Acesso em: 27 fev. 2020.

TRINTINI, A. M. M. **Controle ativo de vibrações através de transdutores piezelétricos**. 2009. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Automação e Sistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/92205/275461.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 fev. 2020.