

## PROJETO E CONSTRUÇÃO DE BANCADA PARA ANÁLISE DINÂMICA DE SISTEMAS MECÂNICOS

Sabrina Viscovini dos Santos, Juliano Ferreira de Lima, Lucas Rangel de Oliveira e Diogo Ramalho de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso do Sul – Três Lagoas - MS

sabrina.santos3@estudante.ifms.edu.br, juliano.lima@estudante.ifms.edu.br, lucas.rangel@ifms.edu.br e diogo.ramalho@ifms.edu.br

### Resumo

Este trabalho apresenta o projeto e a construção de uma bancada para realizar a análise de sistemas mecânicos com o intuito de desenvolver pesquisas científicas e auxiliar na compreensão de conceitos de vibrações, modelagem de sistemas, monitoramento e análise de sinais.

Sendo assim, foram desenvolvidas as etapas de estudo e modelagem matemática do sistema massa-mola, construção, montagem e sensoriamento da bancada, para, finalmente analisar as respostas de aceleração do sistema.

**Palavras-chave:** Vibração mecânica. Sistema massa-mola. Construção de bancada. Impressão 3D. Sensor de baixo custo.

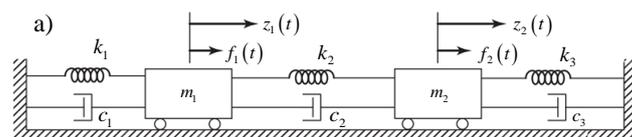
### Introdução

As vibrações são fenômenos muito comuns tanto em nosso cotidiano quanto em atividades industriais. Sendo assim, seu estudo possui um espaço importante dentro da ciência (RAO, 2008). Na Engenharia, cada vez mais tem-se a necessidade análise de vibrações em projetos de máquinas, estruturas, motores, turbinas, entre tantos outros, cujo objetivo é projetar de tal forma que haja segurança, duração e estabilidade. Portanto, o entendimento de suas causas, a influência no meio e a caracterização física são de grande relevância a um futuro profissional de engenharia. Dessa maneira, as atividades em laboratório possuem um papel significativo no processo de ensino-aprendizagem e na formação do educando. Além de facilitar a compreensão do conteúdo e desenvolver a habilidade de trabalhar em grupo, a atividade prática possibilita o contato com condições mais complexas, estimulando uma atuação mais crítica e criativa do educando (BÜHLER et al., 2019). Desse modo, este projeto apresenta o desenvolvimento e a construção de uma bancada com um sistema massa-mola e o sensoriamento por instrumentação de baixo custo – que pode ser replicada por outras instituições de ensino – a fim de colaborar para o desenvolvimento e publicação de pesquisas na área de vibrações mecânicas e controle de sistemas.

### Metodologia

Primeiramente foi estudada a modelagem matemática de sistemas, que pode ser definida como a parte na qual são feitas as soluções matemáticas que vão solucionar os problemas reais. Cada modelo é formulado dependendo da área que será feito o estudo, incluindo todas as informações

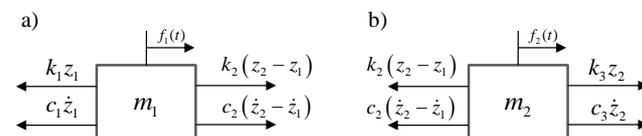
necessárias que vão reger o funcionamento do seu sistema. Nesse caso são abordados estudos de física, engenharia, controle e mecânica como as principais áreas. Nesse trabalho as análises dão ênfase na cinemática e dinâmica. Com base na análise da mecânica newtoniana, as variáveis de deslocamento, velocidade, aceleração e os parâmetros do sistema descrevem a equação do movimento do sistema. Com base nas pesquisas realizadas para o estudo da proposta da construção da bancada, foi elaborado um modelo baseado no modelo massa-mola-amortecedor, como ilustrado na Figura 1.



**Figura 1.** Modelo físico de um sistema massa mola com amortecimento. **Fonte:** Adaptado de RAO (2013).

Na Figura 1,  $k_1$ ,  $k_2$  e  $k_3$  representam os coeficientes de rigidez das molas;  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$  os coeficientes de amortecimento;  $z_1$  e  $z_2$  os deslocamentos lineares das massas e  $f_1$  e  $f_2$  as forças externas aplicadas.

Analisando as relações físicas que acontecem no sistema, incluindo e evidenciando a força de ação e reação das massas e molas, tem-se a construção do diagrama de corpo livre (DCL) para cada massa, ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Diagrama de corpo livre a) massa 1 e b) massa 2. **Fonte:** Adaptado de RAO (2013).

Através do somatório de forças, pode-se calcular as equações do movimento para cada massa.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{z}_1 - c_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_1 \dot{z}_1 - k_2 (z_2 - z_1) + k_1 z_1 &= f_1(t) \\ m_2 \ddot{z}_2 + c_2 (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) + c_3 \dot{z}_2 + k_2 (z_2 - z_1) + k_3 z_2 &= f_2(t) \end{aligned} \quad (1)$$

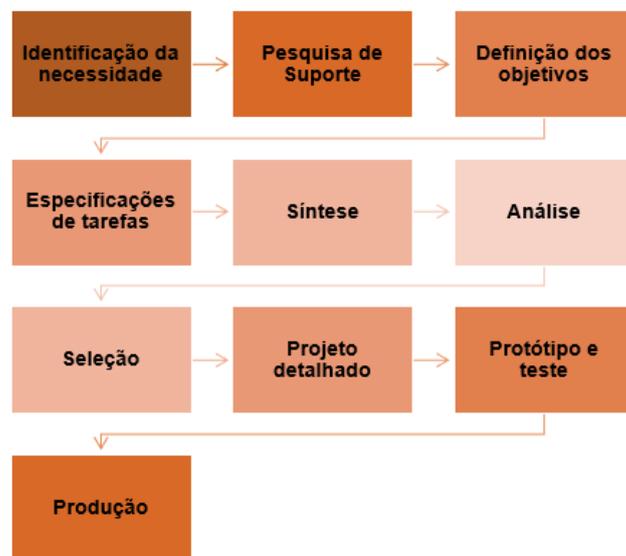
Como esse trabalho se trata da investigação desde a parte teórica dos conceitos envolvidos no sistemas até a construção de uma bancada, foi utilizada uma metodologia de projeto para organizar as etapas do projeto.

Segundo CHARVAT (2003, citado por XAVIER, 2012), uma metodologia é um conjunto de orientações e princípios que podem ser adaptados e aplicados em uma situação específica. Ou seja, consiste em ser um conjunto de etapas que irá formar a estrutura do projeto garantindo assim que o seu objetivo seja alcançado.

O processo é caracterizado pelas seguintes etapas:

- i. a ideia do projeto (identificação da necessidade) que consiste na construção de bancada para análise dinâmica de sistemas mecânicos visando a utilização pelo docente em aulas e projetos de pesquisa;
- ii. as pesquisas de suporte, nas quais serão expostas as questões problemáticas, abordando assim os temas de modelagem matemática, equação do movimento, grau de liberdade, vibrações mecânicas e metodologias;
- iii. a identificação e definição dos objetivos do projeto, sendo exposta as etapas de estudo para analisar e criar a equação do sistema, a construção do sistema massa-mola, a construção da bancada e seu sensoriamento;
- iv. a divisão e especificação das tarefas por etapa sendo elas separadas de acordo com prazos, seguindo a ordem dos objetivos listados anteriormente;
- v. a síntese e a análise para considerar quais são os pontos mais relevantes aplicados;
- vi. a viabilidade das aplicações aceitas (seleção), tendo assim a análise de quais componentes seriam mais adequados, bem como a escolha dos tamanhos que foram necessários para que o projeto fosse adaptado e moldado de acordo com as opções disponíveis;
- vii. o projeto do modelo com os detalhes descritos, sendo ele desenvolvido em software para verificar como seria feito na prática;
- viii. a criação do modelo físico (protótipo e teste) sendo desenvolvido na etapa final, construindo assim a bancada com o sistema para análise e sensoriamento.

As etapas descritas estão sumarizadas no fluxograma ilustrado na Figura 3.

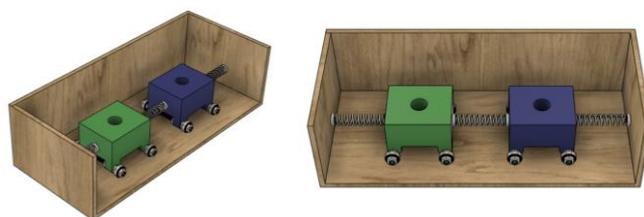


**Figura 3.** Fluxograma das etapas da metodologia de projeto.

**Fonte:** Elaborado pelos próprios autores (2022).

Em seguida foram desenvolvidos sistemas que representassem o modelo ilustrado na Figura 1. A versão final foi modelada em software 3D, como ilustrada na Figura 4.

A bancada é composta por: dois (2) carros que representam as massas do sistema; três (3) molas que permitem através de sua elasticidade o movimento de ação e reação entre os carrinhos; seis (6) parafusos para fixar as molas nos carros e nas extremidades da bancada; duas (2) porcas para garantir a fixação dos parafusos nas extremidades; oito (8) rolamentos de esfera que permitem que o carrinho faça o deslocamento; quatro (4) placas de mdf para fazer toda a estrutura que irá sustentar a bancada que será construída e uma (1) barra roscada para fazer o eixo em que os rolamentos serão acoplados nos carros.



**Figura 4.** Projeto em 3D da bancada. **Fonte:** Elaborado pelos próprios autores (2022).

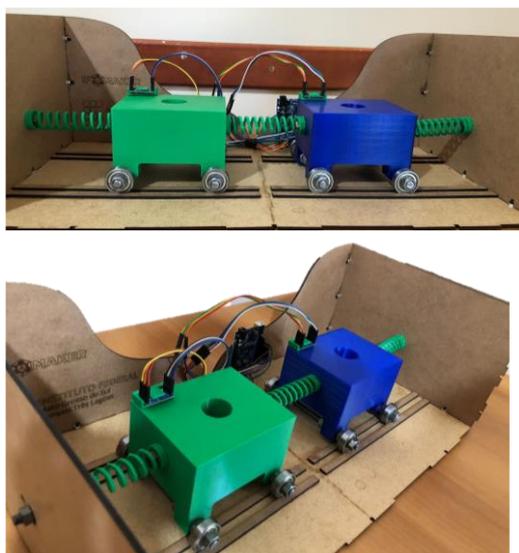
Os carros e as molas foram impressos na impressora 3D para melhor se ajustarem ao projeto. A base e os apoios em mdf foram moldados na cortadora a laser e montadas com o auxílio de cola e parafusos para melhorar a fixação. Já os demais itens foram comprados em loja de ferramentas.

Por fim, para garantir que haja deslocamento apenas na direção longitudinal foram feitos ressaltos de mdf que foram cortados e colados na própria base.

Para a aquisição dos sinais de aceleração foram utilizados dois sensores acelerômetros 3 Eixos MMA7361 conectados ao Arduino Uno. Esse sensor possui sua utilização para realizar medições de inclinação, movimento e orientação de um objeto em três eixos (X, Y, Z). Cada um deles possui uma variação de tensão gerada, permitindo assim a indicação de sua posição atual.

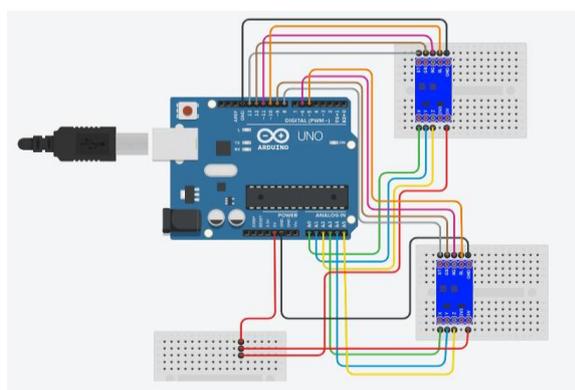
Além disso, esse módulo também tem um baixo consumo de energia, alta sensibilidade, contém um capacitor com a finalidade de fazer a medição do sinal e um filtro, cujo objetivo é diminuir ruídos. No Arduino, segue o mesmo princípio, permitindo que através de um algoritmo seja feito o controle e aplicação das medições realizadas pelo acelerômetro.

A bancada construída, juntamente com os sensores, é mostrada na Figura 5.



**Figura 5.** Modelo físico da bancada. **Fonte:** Elaborado pelos próprios autores (2022).

A ligação esquemática dos acelerômetros com o Arduino é ilustrada na Figura 6.



**Figura 6.** Ligação esquemática dos acelerômetros com o Arduino. **Fonte:** Elaborado pelos próprios autores (2022).

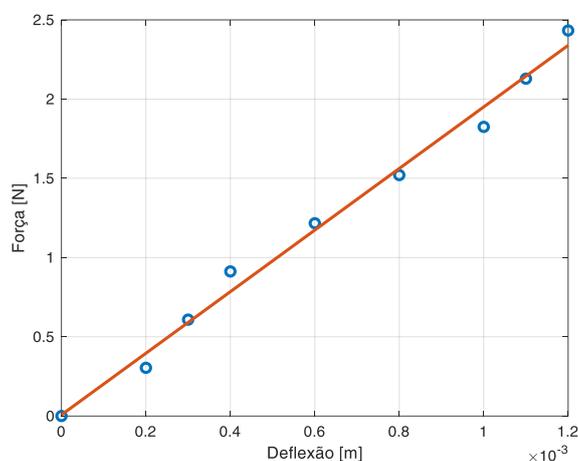
## Resultados e Discussão

A partir de toda a metodologia descrita anteriormente, tem-se como resultado a construção física da bancada e do sistema de análise de aceleração.

Como a mola foi fabricada a partir da impressão 3D foi necessário realizar um experimento para calcular o coeficiente de rigidez da mola.

O experimento foi feito através de um sistema composto por um suporte para adicionar as massas, uma régua para medir a deflexão da mola e as massas de teste.

Adicionando as massas e medindo suas respectivas deflexões, foi possível construir um gráfico, força por deflexão, como ilustrado na Figura 7 e calcular a constante de rigidez da mola através do coeficiente angular da curva, resultando em um valor de aproximadamente 1,94 kN/m.



**Figura 7.** Análise do coeficiente angular da curva. **Fonte:** Elaborado pelos próprios autores (2022).

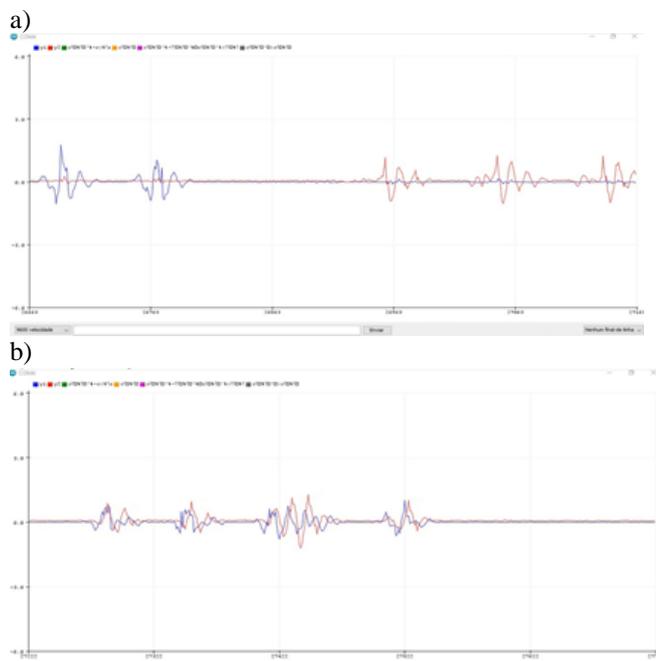
Como a bancada não possui um sistema para excitação externa, foram dadas condições iniciais de deslocamento a fim de medir os sinais de aceleração. Para analisar os dados do comportamento do sistema massa-mola da bancada, foram dadas duas situações de condição inicial: (i) deslocando apenas em uma das massas, uma de cada vez, e (ii) deslocando as duas massas simultâneas.

Na primeira análise, ilustrada na Figura 8a), tem-se o comportamento oscilatório das duas massas (uma após a outra) que ao receber uma condição inicial (impulso), ganha aceleração e conforme são amortecidas acabam retornando ao estado de repouso.

Na segunda análise, ilustrada na Figura 8b), as massas receberam uma condição inicial simultânea, resultando em uma maior variação da amplitude em ambas as massas. Após instantes retornam à posição estática devido ao efeito de amortecimento.

Ainda que os resultados expostos tenham sido satisfatórios para visualizar o comportamento do sistema, nota-se a presença de ruídos no sinal medido. Dessa forma, como melhoria futura poderiam ser analisadas as causas dos ruídos

e a implementação de um filtro para atenuação dos distúrbios.



**Figura 8.** a) Primeira análise: massas recebendo condições iniciais em tempos diferentes. b) Segunda análise: massas recebendo condições iniciais simultaneamente. **Fonte:** Elaborado pelos próprios autores (2022).

### Considerações Finais

Este trabalho apresentou uma metodologia de projeto para a construção de uma bancada baseada em um sistema massa-mola com a aquisição de sinais por sensores de baixo custo. O projeto é de grande relevância quando se deseja estudar sobre as vibrações de um sistema mecânico e como funciona a análise de seu movimento. No contexto do ensino superior nessa área, o estudo é fundamental para preparar o futuro profissional para desempenhar análise de sistemas reais, e não apenas os problemas teóricos encontrados em livros-texto. Mediante a realização dos experimentos e etapas descritas nas seções anteriores, nota-se que a participação dos alunos e orientadores contribuiu para tornar mais eficaz a abordagem sobre o assunto. Além disso, possibilitou aos alunos envolvidos ampliarem seus conhecimentos tendo a oportunidade de trabalhar de forma prática utilizando equipamentos e metodologias específicas não abordadas dentro do curso em si, contribuindo assim para o crescimento das pesquisas científicas dentro de faculdades.

### Agradecimentos

Agradecemos ao incentivo financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul (IFMS) através do Edital 030/2021-Propi/IFMS. Também, ao IFMaker Três

Lagoas por disponibilizar a infraestrutura, equipamentos e insumos necessários para realização desse projeto.

### Referências

BÜHLER, A. J. et al. **Comparação entre simulação e sistema real de vibração com dois graus de liberdade.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 41, n. 4, 2019.

LOPES, Eduardo. **Análise cinemática, estática e dinâmica de sistemas mecânicos.** Disponível em: [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM253/Prof.Eduardo\\_Lopes/tm253\\_1.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM253/Prof.Eduardo_Lopes/tm253_1.pdf)

MORETTI, Antônio Carlos. **Modelagem matemática.** Disponível em: [https://www.ime.unicamp.br/~moretti/ms428/2sem2010/aula\\_slides.pdf](https://www.ime.unicamp.br/~moretti/ms428/2sem2010/aula_slides.pdf). Acesso 14 dez 2021.

NETO, Arthur Palmeira Ripper. **Vibrações Mecânicas.** Editora E-papers, 2007.

RAO, S. **Vibrações Mecânicas.** 4. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

XAVIER, Carlos Magno et al. **Metodologia de gerenciamento de projetos.** Rio de Janeiro: Brasport, 2005.

### DESIGN AND CONSTRUCTION OF A BECH FOR DYNAMIC ANALYSIS OF MECHANICAL SYSTEMS

**Abstract:** *This work presents the design and construction of a bench to perform the analysis of mechanical systems in order to develop scientific research and assist in the understanding of vibrations, system modeling, monitoring and signal analysis.*

*Thus, the stages of study and mathematical modeling of the mass-spring system, construction, assembly and sensing of the bench were developed, to finally analyze the acceleration responses of the system.*

**Keywords:** *Mechanical vibration. Spring-mass system. Bench construction. 3D printing. Low cost sensor.*