

## 15º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2024

### CONCEPÇÃO E AVALIAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE QUEDA LIVRE DE PESO VOLTADA PARA ENSAIOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS

MURILO DA C. RAMOS<sup>1</sup>, ROBERTO M. MICALI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Aeronáutica, Bolsista PIBIC/CNPq, IFSP, Campus São Carlos, [murilo.ramos@aluno.ifsp.edu.br](mailto:murilo.ramos@aluno.ifsp.edu.br).

<sup>2</sup> Professor e Pesquisador, IFSP, Campus São Carlos, [micali@ifsp.edu.br](mailto:micali@ifsp.edu.br).

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.05.04.00-7 Projetos de Máquinas.

#### RESUMO:

Com o intuito de compreender o mecanismo de falha e ainda como os materiais compósitos reagem quando submetidos a forças de impacto, destina-se projetar e construir uma máquina de impacto por queda livre de massas a partir dos materiais disponíveis no câmpus, caracterizando assim uma solução economicamente viável, destinada para aplicações em futuras pesquisas e aulas de laboratório. A escolha dos compósitos como objeto de estudo deve-se à sua crescente utilização no setor aeronáutico, resultado de sua capacidade de combinar diferentes propriedades mecânicas, como alta resistência e leveza. O projeto inclui, além da concepção e fabricação da máquina, um sistema de instrumentação capaz de mensurar a força de impacto, que por sua vez acontece por meio de um acionador eletromecânico responsável por liberar a massa impactadora (esfera metálica) sobre o corpo de prova fixado. Todo o desenvolvimento foi realizado com o apoio de ferramentas de modelagem CAD, como o *software Inventor*®. O projeto final viabiliza a realização de ensaios experimentais em diferentes cenários de impacto, possibilitando a variação da altura de queda, bem como o peso e as dimensões da massa impactadora.

**PALAVRAS-CHAVE:** Impacto a baixa velocidade; Projeto mecânico; Máquina de ensaio; Queda de peso; Placas de compósito.

#### DESIGN AND EVALUATION OF A MACHINE PER DROP WEIGHT FOR TESTING COMPOSITE MATERIALS

#### ABSTRACT:

To understand the failure mechanism and how composite materials respond to impact forces, this project aimed to design and build a drop weight impact machine using materials available on campus, thus providing a cost-effective solution for future research and laboratory applications. The choice of composites as the subject of study stems from their increasing use in the aerospace sector, due to their ability to combine different mechanical properties such as high strength and lightweight. The project includes not only the design and fabrication of the machine but also an instrumentation system capable of measuring the impact force, facilitated by an electromechanical actuator responsible for releasing the impacting mass (steel sphere) onto the fixed test specimen. All development was supported by

CAD modeling tools, such as Inventor® software. The final design enables experimental testing in various impact scenarios, allowing for adjustments in drop height, as well as the weight and dimensions of the impacting mass.

**KEYWORDS:** Low-speed impact; Mechanical design; Testing machine; Drop weight; Composite plate.

## **INTRODUÇÃO**

Em virtude de uma série de pesquisas desenvolvidas no câmpus IFSP São Carlos, que objetivam o estudo das propriedades dos materiais compósitos e suas aplicações com foco na indústria aeronáutica, houve a necessidade de desenvolver uma máquina voltada para a realização de ensaios do tipo “queda livre” para sua utilização em práticas acadêmicas futuras. Sabendo que o câmpus não apresenta esse tipo de equipamento, a sua confecção representa uma opção mais viável economicamente, uma vez que será projetada com base nos materiais disponíveis no câmpus.

O princípio de funcionamento de uma máquina de impacto por queda livre envolve a liberação de uma massa a partir de uma altura definida. Esta massa, ao ser solta, atinge o corpo de prova (material compósito) posicionado na base da máquina. Durante a operação, a massa suspensa possui uma energia potencial que é convertida em energia cinética quando a massa é liberada e cai sobre o corpo de prova (JUNIOR; SILVA; AMORIM; 2013).

Após a liberação da massa, a energia cinética é transferida para o corpo de prova do material compósito, gerando um impacto controlado e reproduzível. Essa metodologia permite a análise do comportamento do material sob condições dinâmicas, fornecendo informações sobre sua resistência, deformação e capacidade de absorção de energia em situações de impacto. Além disso, de acordo com Matthew e Rawlings (1994), os dados obtidos nesse tipo de ensaio possibilitam a compreensão e avaliação quanto à integridade estrutural do material, como a identificação de áreas suscetíveis a falhas ou fraturas.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Inspirado em Morais et al. (1998), houve a investigação de máquinas de impacto de queda livre disponíveis no mercado e também as desenvolvidas em artigos científicos e dissertações que exploram a metalurgia e os materiais compósitos, com ênfase em sua resposta a impactos de baixa velocidade, visando identificar potenciais dificuldades e inspirações para o desenvolvimento do projeto.

Em um primeiro momento, identificou-se os subsistemas essenciais desse tipo de máquina, que em geral é caracterizado por: superestrutura, impactador e o sistema de aquisição de dados. A superestrutura foi construída utilizando um pórtico metálico já disponível no câmpus, adaptado para fornecer suporte e rigidez à estrutura final. O impactador foi projetado de forma a permitir a liberação da massa impactadora (definida neste projeto como esferas de aço cromo) por meio de um eletroímã solenoide, responsável por garantir que as esferas permanecem suspensas em elevadas alturas e que possam ser liberadas, causando impacto. Em sequência, observou-se que existem duas abordagens principais para a instrumentação dos ensaios: a instrumentação do corpo de prova ou a instrumentação do impactador. No primeiro caso, os sensores (células de carga) são fixados diretamente no corpo de prova para mensurar a deformação durante o impacto. No segundo, a instrumentação é anexada ao impactador, que se desloca até o corpo de prova por meio de atuadores pneumáticos (WILLY, 1999). Diferente dos modelos comerciais, que costumam integrar uma célula de carga no impactador, optou-se por posicionar as células de carga diretamente na base onde o corpo de prova é fixado, uma vez que o pórtico móvel definido como superestrutura impede a instalação das células de carga, pois inviabilizaria o movimento dos atuadores pneumáticos devido as colunas laterais do pórtico. Também foi descartada essa opção devido ao fato de que a intenção do projeto é desenvolver uma alternativa de baixo custo, e a utilização de um sistema pneumático mais complexo desvirtua a intenção do projeto.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como etapa seguinte do projeto, foi analisado o suporte destinado a sustentar as esferas impactadoras. Para tal, foi utilizada uma chapa de alumínio com espessura de 2 mm, disponível no almoxarifado do câmpus. A chapa foi cortada e dobrada utilizando as máquinas do câmpus, respectivamente a serra fita e a prensa dobradeira, resultando em um suporte do tipo caixa, projetado para acomodar o sistema impactador. Em seguida, para a liberação da esfera, foi utilizado um mini solenoide de 12 V, este dispositivo, quando energizado, atua como um gatilho mecânico, uma vez que é composto por uma bobina no seu interior, representada pela área em azul (figura 1). O seu funcionamento ocorre da seguinte forma: quando uma corrente elétrica atravessa a bobina, o solenoide opera como um eletroímã (Lei de Ampère), atraindo assim o eixo de ferro com uma força de 20 Newtons. Para permitir a passagem das esferas, foi feito um furo quadrado com dimensão de 30 mm x 30 mm na parte inferior da caixa de suporte, enquanto na extremidade do eixo da solenoide, fixou-se uma pequena placa de alumínio para acomodar a esfera e evitar que saia do centro quando posicionada em diferentes alturas. Ainda em relação ao acionador para garantir que a massa impactadora consiga atingir com precisão o objeto ensaiado (material compósito) foi instalado no suporte, um módulo laser de 5V, associado a um regulador de tensão do tipo LM7805 uma vez que a bateria responsável por energizar o laser apresenta 9V de tensão, e para acionamento do laser, um botão do tipo chave gangorra.

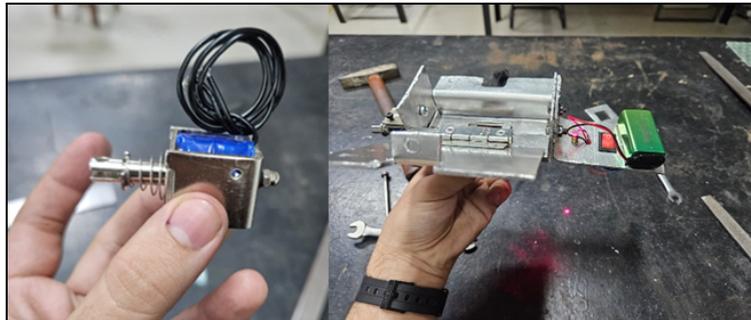


FIGURA 1. Solenoide à esquerda e conjunto acionador (solenoide e módulo laser) à direita.

Para a instrumentação do ensaio, optou-se pela implementação de quatro células de carga de 50 kgf fixadas por suportes feitos por impressão 3D de PLA no verso do porta-amostras, ao invés do impactador. As células de carga utilizadas são compostas por extensômetros (*strain gauge*), isto é, sensores capazes de mensurar a força peso exercida na amostra, isso se torna possível pois estes dispositivos contêm dois resistores de 1 k $\Omega$  dispostos em série em uma configuração de meia ponte de *Wheatstone*. Quando conectados, os quatro resistores formam duas dessas pontes, configuradas em formato de losango. A aplicação de força de impacto causa a deformação do *strain gauge*, resultando em uma alteração de resistência que gera uma diferença de tensão elétrica proporcional à força aplicada, entretanto essa diferença de tensão é muito pequena por isso é necessário a utilização do módulo amplificador e conversor HX711 uma vez que converte o sinal gerado pela célula para um sinal digital que será interpretado como força/peso pelo Arduino (plataforma de prototipagem) conectado ao módulo. O Arduino é então utilizado para calibrar a força de impacto e registrar os resultados obtidos durante os ensaios.

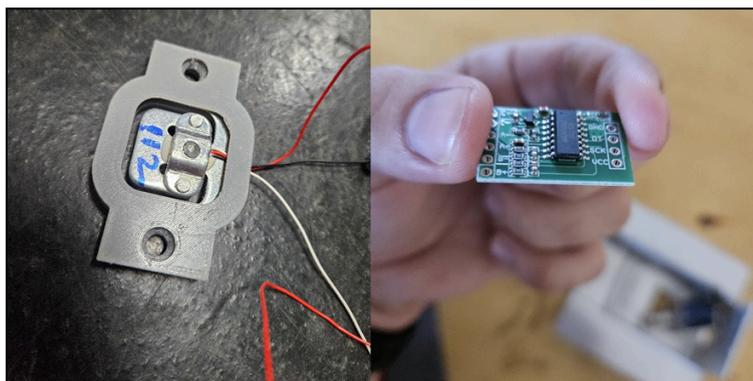


FIGURA 2. Célula de carga fixa em suporte de PLA (à esquerda) e módulo HX711 (à direita).

Para a conclusão e montagem da máquina, primeiramente tornou-se necessário lixar e pintar os componentes enferrujados da superestrutura e os demais subsistemas, com o objetivo de melhorar a estética da estrutura final, visto que a maior parte dos componentes da máquina se encontravam nas instalações do câmpus há mais de 9 anos, desde a inauguração do câmpus IFSP São Carlos. Continuando a etapa de reparação dos materiais, foi identificado que as rodas apresentavam sinais de desgaste e corrosão, o que impediria a movimentação da máquina, por isso as mesmas foram imersas em gasolina a fim de remover a ferrugem e quaisquer resíduos acumulados e em seguida foram lixadas utilizando escovas de aço, visando eliminar os pontos de corrosão e proporcionando assim, novamente a mobilidade da superestrutura. Posteriormente, materiais que se encontravam enferrujados, como os pinos de fixação das colunas guias, passaram por um processo denominado de “oxidação negra a quente”, onde foram submetidos a elevadas temperaturas, através do aquecimento por um maçarico de solda, e em seguida imersos em óleo queimado e assim resfriados, garantindo proteção contra oxidações futuras (evitando a formação de novas ferrugens), concluindo assim a etapa de restauração da máquina.

## CONCLUSÕES

Como conclusão do projeto, todos os subsistemas (superestrutura, colunas guias, impactador e sensor eletroeletrônico da força de impacto) foram montados (figura 4) e testados, com verificação das conexões da solenoide e seu acionamento em todas as alturas definidas, utilizando as esferas impactadoras de aço de 30 mm e 20 mm de diâmetro. Ainda, houve a necessidade de refazer todo o porta-amostras que havia sido projetado inicialmente, pois em um primeiro momento foi desenvolvido à base de alumínio, o que impossibilitou a calibração quanto a instrumentação devido a grande ductilidade do material, que quando submetido ao impacto (alta força no sentido transversal do material), o mesmo sofria flambagem, impossibilitando a calibração do mesmo. Por isso, para evitar novamente esse fenômeno foi utilizado como base para o dispositivo madeira compensada do tipo *pinus* de 25 mm de espessura, uma vez esse tipo de material apresenta elevada dureza e rigidez por se tratar de um material multifásico (fibras de celulose aglutinadas por lignina) (CALLISTER, 2002) e duas placas de MDF na região superior do porta amostras para impedir o movimento do compósito durante o impacto. Após essa etapa todos os subsistemas foram novamente medidos para assim serem representados por meio de desenhos técnicos através do software *Autodesk Inventor Professional*®.

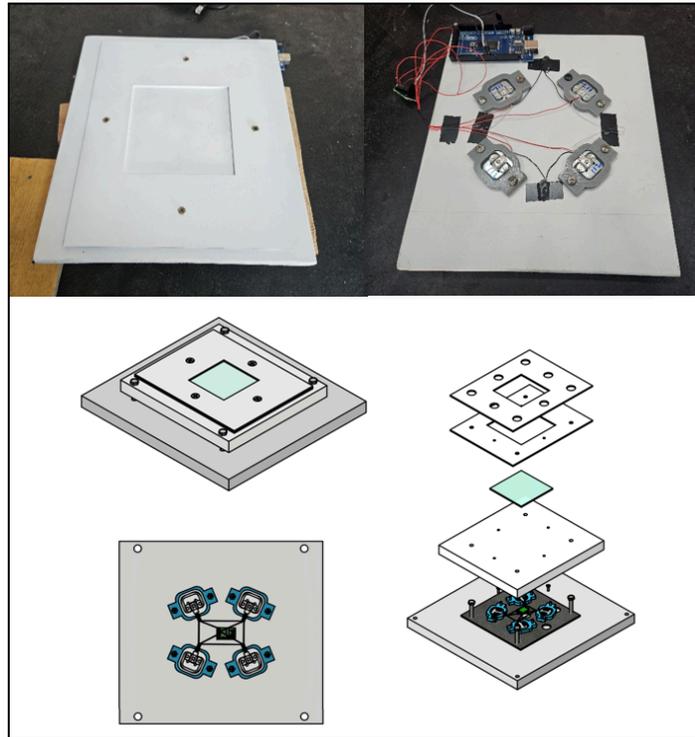


FIGURA 3. Porta-amostras e sistema de sensor eletroeletrônico, e sua representação por meio de desenho técnico através do *Inventor*® em vista isométrica, superior e explodida.



FIGURA 4. Estrutura final da máquina de impacto por queda livre e sua representação em vista isométrica através do *Inventor*®.

## **CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES**

O aluno contribuiu com ideias e atuou ativamente na fabricação da máquina, para isso utilizou as ferramentas de usinagem disponíveis na oficina mecânica do campus, além de ser o responsável pelo processo final de refinamento da estrutura, como lixamento e pintura, enquanto o professor orientador foi responsável pela supervisão geral da pesquisa, por meio de ideias durante as primeiras etapas do projeto, como também forneceu uma revisão dos resultados finais. Por fim, o bolsista realizou a modelagem em 3D de toda a máquina, e os desenhos técnicos integrando, dessa forma, as diversas fases do projeto de forma prática e técnica.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos ao IFSP - Campus São Carlos pela infraestrutura disponibilizada, que foi essencial para a execução desta pesquisa e à CNPq pelo apoio financeiro por meio da bolsa PIBIC, que viabilizou o progresso desta pesquisa. Além disso, agradeço também ao apoio fornecido pelos técnicos da oficina, em especial ao Eduardo Luiz de Godoi e Carlos Eduardo Palmieri, pelas orientações e o aprendizado relacionado ao uso de ferramentas, como fresas, furadeiras, impressão 3d e corte à laser que foram essenciais para o desenvolvimento e inovação deste projeto, contribuindo diretamente para a execução dos experimentos e estudos.

## **REFERÊNCIAS**

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2002.

JUNIOR, F. G.; SILVA, R. G.; AMORIM, W. F. **Development of a machine per drop weight impact for composite materials**. 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2013), 2013.

MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. **Composite materials: engineering and science**. Chapman & Hall, London, 1994.

MORAIS, W. A.; GOMES, P. T. V.; GODEFROID, L. B.; D'ALMEIDA, J. R. M., **Desenvolvimento de uma máquina de ensaios de impacto por queda de peso instrumentada para materiais compósitos**, 1998.

WILLY A. M. **Estudo e caracterização da resistência a impactos de baixas energias em materiais compósitos**. Dissertação de Mestrado – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1999.