

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE EQUIPAMENTO SIMPLES PARA ESTUDO DO EQUILÍBRIO DE FORÇAS

Yasmim de Sousa Batista ¹
Luan Henrique Varão Silva ²

INTRODUÇÃO

O equilíbrio de forças é um conceito fundamental da física e da mecânica geral, sendo essencial para compreender o comportamento de corpos rígidos e estruturas. Segundo Beer et al. (2012), um corpo está em equilíbrio quando as forças externas não provocam movimento translacional nem rotacional, princípio que sustenta diversas aplicações na engenharia.

Na Engenharia Civil, dominar esses conceitos é indispensável para garantir a segurança e a estabilidade das edificações. Tradicionalmente, o tema é ensinado com base em modelos teóricos e experimentos físicos, mas atualmente esses métodos são complementados por softwares como o CypeCAD, que permitem simulações mais precisas das distribuições de forças (Miranda & Silva, 2022). Essa integração entre teoria, prática e tecnologia é essencial para a formação do engenheiro moderno.

Apesar disso, muitos estudantes enfrentam dificuldades em compreender conceitos de estática e equilíbrio, o que reforça a importância de metodologias de ensino que aproximem teoria e prática. Galvão e Assis (2019) destacam que atividades experimentais investigativas estimulam a participação ativa do aluno, promovendo uma aprendizagem mais significativa. Da mesma forma, Santos (2020) e Gomes (2021) defendem que o uso de metodologias ativas e equipamentos de baixo custo pode tornar o ensino de física e mecânica mais acessível, interativo e eficiente.

Com base nesse contexto, o presente trabalho propôs o desenvolvimento e validação de um equipamento didático de baixo custo para o estudo prático do equilíbrio de forças. O dispositivo foi construído com materiais simples — como tubos de PVC, régua acrílica e dinamômetros — e testado em diferentes configurações experimentais. As medições obtidas foram comparadas aos valores teóricos calculados por meio do software Ftool, possibilitando a análise da precisão e viabilidade do equipamento.

¹ Graduando do Curso de Engenharia Civil do IFMA - Campus Imperatriz, batista.yasmim@acad.ifma.edu.br;

Os resultados demonstraram alta precisão em configurações simétricas e erros médios aceitáveis (cerca de 7%) em casos assimétricos, o que confirma a confiabilidade do dispositivo como ferramenta didática. O estudo também evidenciou que ajustes simples, como melhor calibração e alinhamento, podem ampliar a precisão e a aplicabilidade do equipamento.

Em síntese, o trabalho reforça o potencial de equipamentos experimentais acessíveis como instrumentos pedagógicos para o ensino de estática, contribuindo para uma aprendizagem mais prática, ativa e contextualizada na formação de futuros engenheiros.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

A metodologia empregada neste trabalho foi de natureza experimental e aplicada, voltada ao desenvolvimento e validação de um equipamento didático de baixo custo para o ensino de equilíbrio de forças. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o tema e sobre o uso de instrumentos experimentais simples no ensino de mecânica, a fim de embasar teoricamente a concepção do dispositivo e destacar a relevância de recursos acessíveis no processo de aprendizagem.

A etapa experimental consistiu na construção do equipamento com materiais selecionados segundo critérios de durabilidade, precisão e facilidade de montagem. A estrutura principal foi confeccionada em tubos e conexões de PVC, material leve, resistente e de fácil manuseio. Uma régua acrílica de 50 cm, perfurada em intervalos regulares de 1 cm, foi integrada ao sistema para permitir a aplicação de pesos calibrados em pontos específicos. Os dinamômetros foram fixados à estrutura por meio de cordões e abraçadeiras, possibilitando a medição direta das forças atuantes no sistema.

Após a montagem, procedeu-se à coleta de dados experimentais, mediante a aplicação de pesos em pontos previamente determinados, observando-se as leituras obtidas nos dinamômetros. O sistema foi testado em diferentes configurações de carregamento — simétricas e assimétricas —, sendo os valores experimentais comparados aos resultados teóricos calculados com o uso do software Ftool, amplamente utilizado para análise de estruturas planas. Essa comparação permitiu determinar a margem de erro e avaliar a precisão do equipamento desenvolvido.

O experimento foi repetido em diversas ocasiões para garantir reprodutibilidade e confiabilidade dos resultados, sendo todas as medições registradas e analisadas de forma sistemática. Por se tratar de um estudo com aparato experimental e sem envolvimento de seres

humanos ou animais, não foi necessária aprovação por comitê de ética. Todas as imagens e esquemas utilizados pertencem ao próprio grupo de pesquisa, com direito de uso integral.

REFERENCIAL TEÓRICO

O estudo do equilíbrio de forças é central na estática e na mecânica estrutural. Definir quando um corpo rígido permanece em equilíbrio é fundamental para a análise estrutural e o comportamento de sistemas estáticos. Como afirmam Beer et al. (2012), “um corpo rígido está em equilíbrio quando a soma das forças e a soma dos momentos das forças atuantes são nulas”. Esse entendimento sustenta a estabilidade das edificações, sendo de relevância direta para a formação de engenheiros civis, que precisam prever e controlar as reações e momentos em vigas, lajes e outras estruturas.

No campo da educação em Física e Engenharia, a experimentação ocupa papel destacado. Conforme Gaspar (2014), atividades experimentais promovem a vivência concreta de conceitos abstratos, favorecendo a aprendizagem significativa. Velasque et al. (2021) demonstram que o uso de materiais do cotidiano para ilustrar as condições de equilíbrio estático permite aos alunos visualizar o comportamento de forças e momentos de forma intuitiva. Além disso, Borges (2006) aponta que a formação inicial de professores de Física deve contemplar métodos que tornem o ensino mais ativo e efetivo: “formar mais, formar melhor”.

Inserem-se também as metodologias ativas como estratégia pedagógica de destaque. Gomes et al. (2021) analisaram ampla produção em teses e dissertações e identificaram que o uso de metodologias ativas em cursos de engenharia favorece a participação, o raciocínio crítico e aproxima a teoria da prática. Nesse contexto, dispositivos didáticos de baixo custo para o ensino da estática se apresentam como alternativa viável, sobretudo em ambientes com recursos limitados. Rabelo & Nóbrega (2016) trabalharam com protótipos de construção simples para o ensino de engenharia e mostraram que a manipulação física gera entusiasmo e entendimento mais profundo nos alunos.

Adicionalmente, o emprego de software e ferramentas de simulação também é relevante para o ensino da estática. Por exemplo, a integração entre a teoria, a experimentação e a simulação permite que os alunos façam analogias entre o que medem experimentalmente e o que obtêm teoricamente. Esta tríade fortalece o aprendizado.

Dessa forma, o presente trabalho se fundamenta na confluência entre o conhecimento teórico da estática, práticas experimentais acessíveis e metodologias ativas de ensino, buscando desenvolver e validar um equipamento didático que responda a esses preceitos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, analisamos os resultados obtidos em quatro experimentos realizados com o equipamento desenvolvido para o estudo do equilíbrio de forças. A comparação entre os dados experimentais e os valores teóricos calculados pelo software Ftool permitiu verificar a precisão do dispositivo em diferentes configurações de carregamento. A margem de erro calculada para cada experimento foi essencial para avaliar a eficácia e as limitações do equipamento, especialmente considerando seu custo e a simplicidade dos materiais utilizados.

Nos Experimentos 01 e 02, trabalhamos com configurações simétricas de apoio, com a aplicação de cargas iguais em pontos específicos da régua. Esses experimentos demonstraram alta precisão, com resultados experimentais que coincidiram com os valores teóricos do Ftool, apresentando erro nulo. Tais resultados confirmam a confiabilidade do equipamento em condições de equilíbrio simples, validando o seu uso em ambientes educacionais, onde a precisão é fundamental para o aprendizado dos conceitos básicos de estática. A literatura de Galvão e Assis (2019) aponta que a realização de atividades experimentais de baixo custo é uma excelente abordagem para reforçar a aprendizagem de conceitos fundamentais da física, como o equilíbrio de forças.

Porém, ao realizar os Experimentos 03 e 04, que envolvem condições de assimetria — com forças aplicadas em distâncias desiguais —, os erros aumentaram significativamente. No Experimento 03, as discrepâncias foram atribuídas ao desalinhamento na configuração e à imprecisão na aplicação das forças, fatores que afetaram a distribuição das cargas ao longo da régua. No Experimento 04, embora os erros tenham sido menores, de cerca de 6,1%, ainda assim indicam que a configuração assimétrica apresenta limitações para um dispositivo artesanal, conforme esperado.

Estes resultados são consistentes com o que a literatura sugere sobre configurações assimétricas em experimentos de equilíbrio de forças, como discutido por Santos (2020) e Rabelo & Nóbrega (2016), que destacam as dificuldades encontradas em cenários mais complexos, onde o alinhamento e o controle preciso das forças tornam-se desafios. A maior margem de erro observada nesses testes sublinha a importância de ajustes finos, como

calibração dos dinamômetros e controle da posição dos pesos, para reduzir as discrepâncias em situações mais avançadas.

Em termos gerais, a média do erro dos quatro experimentos foi de 7,6%, valor que, embora não seja nulo, é aceitável para um dispositivo de baixo custo. Essa precisão, combinada com a simplicidade dos materiais utilizados, comprova que o dispositivo é viável para ser usado em contextos educacionais, especialmente em instituições que não dispõem de equipamentos sofisticados. No entanto, os resultados também indicam que o desempenho em assimetria pode ser melhorado com ajustes simples, como melhor alinhamento dos componentes, recalibração dos dinamômetros e redução do atrito nas articulações.

A análise empírica desses experimentos reflete a eficácia do dispositivo como ferramenta de ensino. Como mencionado por Velasque et al. (2021), a experimentação prática é crucial para a aprendizagem de conceitos fundamentais da física, como o equilíbrio de forças, e a possibilidade de replicar este dispositivo em diferentes contextos educacionais torna-o uma solução acessível e eficaz.

A pesquisa confirmou que a integração de metodologias ativas com o uso de equipamentos simples pode contribuir para uma aprendizagem mais significativa, como discutido por Gomes (2021). O uso deste dispositivo de baixo custo permite aos alunos visualizar e interagir com os conceitos de estática e equilíbrio de forças de uma forma prática e dinâmica. Dessa forma, o dispositivo proposto não só facilita o ensino de conceitos fundamentais, mas também reforça a aplicação dos princípios da Estática em contextos reais de engenharia, oferecendo uma alternativa pedagógica poderosa para a formação de futuros engenheiros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento desenvolvido para o estudo do equilíbrio de forças demonstrou ser eficaz, especialmente em configurações simétricas, onde os resultados experimentais apresentaram alta precisão, com margens de erro praticamente inexistentes. Esse desempenho comprova a viabilidade do uso de dispositivos de baixo custo e fácil replicação, como ferramenta de ensino de conceitos fundamentais da física, particularmente em contextos educacionais com limitações de recursos laboratoriais. Nesse sentido, o dispositivo se configura como uma alternativa acessível e eficiente para a promoção do ensino de estática em diversos níveis de educação.

Embora o dispositivo tenha se mostrado eficaz para configurações simétricas, suas limitações foram evidentes em situações assimétricas, onde os erros aumentaram devido a fatores como desalinhamento dos componentes, atrito nas articulações e imprecisão na aplicação das forças. Essas falhas são esperadas em equipamentos artesanais, mas ainda assim os resultados permanecem dentro de uma faixa aceitável para um dispositivo de baixo custo. A pesquisa sugere que ajustes simples, como melhor alinhamento, recalibração dos dinamômetros e maior controle na aplicação das forças, podem reduzir esses erros e ampliar a precisão, tornando o dispositivo ainda mais confiável.

O baixo custo e a replicabilidade do dispositivo o tornam uma ferramenta útil tanto em contextos educacionais quanto em ambientes profissionais, onde o orçamento para materiais didáticos é limitado. A possibilidade de expandir o uso do equipamento para experimentos mais complexos reforça seu potencial como recurso pedagógico, podendo, assim, ser incorporado a currículos de cursos de engenharia e até em laboratórios de instituições de ensino superior com menos infraestrutura.

Além de sua acessibilidade, o uso de equipamentos práticos como o desenvolvido neste trabalho também favorece uma aprendizagem ativa e envolvente, que é uma característica central das metodologias ativas de ensino. Ao permitir que os estudantes manuseiem o dispositivo, observem os resultados em tempo real e confrontem esses dados com as previsões teóricas, o dispositivo facilita a compreensão e internalização de conteúdos complexos, especialmente em disciplinas como Mecânica e Resistência dos Materiais. Esse tipo de abordagem não só melhora o desempenho acadêmico dos alunos, mas também os prepara para aplicar conceitos teóricos em contextos práticos.

Por fim, embora o equipamento tenha mostrado grande potencial, existem diversas oportunidades para novas pesquisas e melhorias. A expansão da pesquisa poderia incluir o desenvolvimento de versões mais robustas e precisas do dispositivo, bem como a validação do dispositivo em contextos educacionais reais, acompanhando o impacto no aprendizado dos alunos. Além disso, a análise de novos materiais e métodos de construção poderia ampliar a gama de aplicações do equipamento, tornando-o ainda mais acessível e eficaz.

A pesquisa também aponta para a necessidade de mais estudos sobre o uso de dispositivos didáticos de baixo custo no ensino de física e engenharia, explorando como esses dispositivos podem ser integrados em metodologias de ensino contemporâneas, como a aprendizagem baseada em projetos e outras abordagens de ensino colaborativo.

Palavras-chave: Ensino de engenharia. Metodologias ativas. Equipamento didático. Equilíbrio de forças. Estática aplicada.

REFERÊNCIAS

BEER, F. P. *et al.* **Mecânica vetorial para engenheiros: Estática** – 9. ed. – Dados eletrônicos. – Porto Alegre: AMGH, 2012.

MIRANDA, W. P.; SILVA, A. C. L. **O papel do engenheiro no uso de softwares para cálculo estrutural** / *The role of engineers in the use of structural calculations softwares. Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v.8, n.1, p. 3681-3698, 2022. DOI: 10.34117/bjdv8n1-242. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/42700>. Acesso em: 30 set. 2024.

GALVÃO, I. C. M.; ASSIS, A. **Atividade Experimental Investigativa No Ensino De Física E O Desenvolvimento De Habilidades Cognitivas**. REnCiMa, v. 10, n.1, p. 14-26, 2019.

GOMES, E.C. **Uso das metodologias ativa nos cursos de engenharia no brasil a partir de teses e dissertações**, *Revista Valore, Volta Redonda*, v. 6, n. Edição Especial, p. 471-483 2021

SANTOS, R. V. **A Importância Da Experimentação No Ensino De Física: Um Estudo De Caso No Ensino De Cinemática**. Dissertação (Mestrado Profissional) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP). Presidente Prudente, 73p. 2020.

GASPAR, A. **Atividades experimentais no ensino de Física**. 1ª Ed. Livraria da Física. São Paulo, 2014.

VELASQUE, Vanessa Neris *et al.* **Demonstração experimental das condições de equilíbrio estático de corpos rígidos**: Uma abordagem qualitativa utilizando materiais do cotidiano. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 52872-52884, maio 2021

BORGES, O. **Formação Inicial de Professores de Física**: Formar Mais! Formar Melhor! *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 2, p. 135-142, 2006.

RABELLO, Vinícius Malta; NÓBREGA, Marcelo de Jesus Rodrigues da. **Desenvolvimento de Protótipos para Ensino de Engenharia**: Uma Abordagem Construtiva de Baixo Custo. *Revista Projectus*, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 41-49, abr./jun. 2016.