



O USO DO EXCEL® COMO FERRAMENTA EDUCACIONAL NO ENSINO DE ESTRUTURAS: APLICAÇÕES EM MECÂNICA DAS ESTRUTURAS E CONCRETO ARMADO

THE USE OF EXCEL® AS AN EDUCATIONAL TOOL IN STRUCTURAL ENGINEERING EDUCATION: APPLICATIONS IN STRUCTURAL MECHANICS AND REINFORCED CONCRETE

Lucas Leite dos Santos¹

DOI: 10.37702/REE2236-0158.v44p116-148.2025

RESUMO: Este trabalho propõe a utilização do Microsoft Excel® como ferramenta educacional no ensino de Engenharia Civil, especificamente nas disciplinas de Mecânica das Estruturas I, Mecânica das Estruturas II e Estruturas de Concreto Armado I. A motivação para o estudo surge da necessidade de superar desafios comuns no Ensino de Engenharia, como a complexidade dos cálculos estruturais, a abstração de conceitos teóricos e a lacuna entre teoria e prática. Foram desenvolvidas três planilhas eletrônicas que automatizam cálculos de esforços solicitantes, análise da linha elástica e dimensionamento de vigas de concreto armado, além de gerar diagramas e gráficos interativos que facilitam a visualização e interpretação dos comportamentos estruturais. A metodologia adotada alinha-se às teorias da Aprendizagem Significativa (Ausubel) e da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), promovendo um aprendizado mais contextualizado e prático. As planilhas foram validadas com softwares amplamente utilizados na indústria, como Ftool®, Robot Structural Analysis®, TQS® e Cypacad®, demonstrando precisão e alinhamento com as demandas educacionais e profissionais. Os resultados indicam que o Excel® pode ser uma ferramenta eficaz para o Ensino de Engenharia, contribuindo para uma formação mais dinâmica, interativa e alinhada às exigências do mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Excel®; Ensino de Engenharia; Mecânica das Estruturas, concreto armado.

ABSTRACT: This study proposes the use of Microsoft Excel® as an educational tool in Civil Engineering education, specifically in the courses of Structural Mechanics I, Structural Mechanics II, and Reinforced Concrete Structures I. The motivation for this research stems from the need to overcome common challenges in engineering education, such as the complexity of structural calculations, the abstraction of theoretical concepts, and the gap between theory and practice. Three spreadsheets were developed to automate calculations of internal forces, elastic line analysis, and reinforced concrete beam design, in addition to generating interactive diagrams and graphs that facilitate the visualization and interpretation of structural behaviors. The methodology aligns with the theories of Meaningful Learning (Ausubel) and Problem-Based Learning (PBL), promoting a more contextualized and practical learning experience. The spreadsheets were validated using widely used industry software, such as Ftool®, Robot Structural Analysis®, TQS®, and Cypacad®, demonstrating accuracy and alignment with educational and professional demands. The results indicate that Excel® can be an effective tool for engineering education, contributing to a more dynamic, interactive, and market-aligned training.

KEYWORDS: Excel®; Engineering Education; Structural Mechanics; reinforced concrete.

¹ Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), lucasls.engcivil@gmail.com



INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas computacionais no ensino de Engenharia Civil tem se mostrado essencial para superar desafios como a complexidade dos cálculos estruturais, a abstração de conceitos teóricos e a lacuna entre teoria e prática. Métodos tradicionais de ensino, baseados exclusivamente em abordagens expositivas e resoluções manuais, muitas vezes dificultam a assimilação dos conteúdos, tornando o aprendizado menos dinâmico e interativo (Carvalho, Porto e Belhot, 2001). Nesse contexto, a integração de *softwares* de apoio torna-se uma estratégia pedagógica fundamental para potencializar a compreensão dos fenômenos estruturais e otimizar a resolução de problemas práticos.

Dentre essas ferramentas, o Excel® se destaca por sua ampla acessibilidade, versatilidade e capacidade de integrar cálculos, simulações e visualizações gráficas em uma única plataforma. Estudos como os de Niazkar e Afzali (2016) e Sana (2017) reforçam seu potencial pedagógico, demonstrando sua eficácia na resolução de problemas complexos e na promoção de um aprendizado mais contextualizado. Além de ser amplamente utilizado na indústria da construção civil, o Excel® permite que estudantes desenvolvam habilidades analíticas, automatizem processos repetitivos e verifiquem instantaneamente os impactos de diferentes parâmetros nos resultados estruturais.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de três planilhas eletrônicas no Excel® para as disciplinas de Mecânica das Estruturas I, Mecânica das Estruturas II e Estruturas de Concreto Armado I, alinhando-se às teorias da Aprendizagem Significativa (Ausubel) e da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL). As planilhas foram projetadas para automatizar cálculos de esforços solicitantes, análise da linha elástica e dimensionamento de vigas de concreto armado, além de gerar diagramas e gráficos interativos que facilitam a visualização e interpretação dos comportamentos estruturais.

A motivação para este estudo surge da necessidade de tornar o ensino de Engenharia Civil mais engajador. Como evidenciado por Woodbury et al. (2008) e Mezhenyaya e Pugachev (2019), o Excel® é amplamente utilizado por profissionais da área, o que justifica sua integração à formação acadêmica. Os resultados demonstram não apenas a precisão das ferramentas, validadas com softwares como Ftool®, Robot Structural Analysis®, TQS® e Cypecad®, mas também seu alinhamento com as demandas educacionais e profissionais. Dessa forma, o Excel® se consolida como um recurso estratégico no ensino de Engenharia Civil, contribuindo para uma formação mais prática, eficiente e inovadora.



FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Aplicações da ferramenta Excel® na engenharia

O Excel® tem se mostrado uma ferramenta versátil e acessível para a resolução de problemas de engenharia, tanto em contextos educacionais quanto práticos. De acordo com Niazkar e Afzali (2016), o Excel®, combinado com o Visual Basic for Applications (VBA), pode ser utilizado para resolver problemas em diversas áreas da engenharia, como mecânica dos fluidos, análise estrutural e mecânica dos solos. Ainda segundo Niazkar e Afzali (2016), a capacidade do Excel® de integrar cálculos, gráficos e análises em uma única plataforma o torna uma opção viável para profissionais e estudantes que buscam soluções rápidas e precisas para problemas de engenharia.

O trabalho realizado por Sana (2017) descreve o desenvolvimento e a aplicação de uma planilha do Excel® com funções de VBA para ensinar conceitos fundamentais de Engenharia Costeira. A planilha, chamada "Coastexcel", foi projetada para calcular propriedades de ondas, transformações de ondas, elevações de marés, tempo de viagem de tsunamis, crescimento de ondas geradas pelo vento, alturas de ondas de projeto, dimensões de quebra-mares e taxas de transporte de sedimentos ao longo da costa. A planilha foi utilizada em um curso de graduação em Engenharia Costeira na Universidade Sultan Qaboos, em Omã e se mostrou eficaz para motivar os estudantes e melhorar sua compreensão dos conceitos. Sana (2017) destaca ainda que embora existam *softwares* profissionais para análise costeira, eles exigem conhecimento avançado e não permitem que os estudantes entendam ou modifiquem os cálculos subjacentes.

Mendonça *et al.* (2017) investigaram o impacto do uso do Excel® no ensino de regressão linear e correlação em dois grupos de alunos do curso de Engenharia Química da Escola de Engenharia de Porto. O grupo G1 (2015-2016) e o grupo G2 (2016-2017), cada um com 50 estudantes, realizaram uma tarefa prática utilizando o Excel® para analisar dados experimentais. Os resultados mostraram que 80% dos estudantes conseguiram aplicar corretamente os conceitos estatísticos. Além disso, a metodologia promoveu maior engajamento e interação entre os estudantes, facilitando o aprendizado por meio da experimentação prática.

Woodbury *et al.* (2008) realizaram uma pesquisa com ex-alunos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Alabama, no qual se



revelou que 100% dos entrevistados usam o Excel® regularmente em seus trabalhos, enquanto poucos utilizam *softwares* especializados, como Ansys® ou Matlab®.

Onze anos depois, Mezhennaya e Pugachev (2019) realizaram uma pesquisa com 164 estudantes (110 homens e 54 mulheres) de engenharia, que estavam nos últimos anos de graduação ou no primeiro ano de mestrado. O objetivo consistia em analisar a percepção dos estudantes sobre a usabilidade, conveniência e aplicabilidade de programas como Matlab®, Mathcad®, Mathematica® e Excel® no contexto educacional. Observou-se que o Excel® foi o programa mais popular entre os estudantes, sendo utilizado por 91% dos participantes. A popularidade do Excel® foi atribuída à sua ampla disponibilidade, facilidade de uso e ao fato de ser ensinado em muitas escolas.

Teorias de aprendizagem aplicadas ao Ensino de Engenharia

Aprendizagem Significativa (Ausubel)

Carvalho, Porto e Belhot (2001) destacam a Aprendizagem Significativa, teoria proposta por David Ausubel, como um modelo eficaz para o Ensino de Engenharia. Segundo os autores, a aprendizagem significativa ocorre quando novas informações se ancoram em conceitos relevantes preexistentes na estrutura cognitiva do aluno. Para que isso aconteça, é necessário que:

- a) o material a ser aprendido seja potencialmente significativo, ou seja, relacionável à estrutura de conhecimento do aluno de forma coerente e relevante;
- b) o aluno manifeste disposição para relacionar o novo material ao que já conhece, demonstrando motivação e engajamento no processo de aprendizagem.

No contexto do Ensino de Engenharia, Carvalho, Porto e Belhot (2001) sugerem que o professor deve:

- a) identificar os conhecimentos prévios dos alunos, para que os novos conceitos possam ser ancorados de forma significativa;
- b) planejar a hierarquia de conceitos, organizando o conteúdo de forma lógica e sequencial, utilizando ferramentas como mapas conceituais para facilitar a compreensão e a associação de ideias;
- c) contextualizar os conceitos, mostrando sua aplicação prática e relevância no dia a dia do aluno, desafiando-o a resolver problemas reais;
- d) consolidar o conhecimento por meio de exercícios práticos, simulações e estudos de caso, que permitam ao aluno aplicar os conceitos aprendidos em situações reais.



Essa abordagem, segundo Carvalho, Porto e Belhot (2001), não apenas facilita a absorção do conhecimento, mas também prepara os alunos para enfrentar mudanças e desafios no mercado de trabalho, desenvolvendo a capacidade de “aprender a aprender”.

Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL)

De Camargo Ribeiro (2008) apresenta a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) como uma abordagem instrucional que utiliza problemas da vida real para motivar e facilitar a aprendizagem de conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais, essenciais para a formação de engenheiros. O PBL é especialmente relevante no ensino de Engenharia, pois promove a integração entre teoria e prática, além de desenvolver habilidades como trabalho em grupo, comunicação e resolução de problemas. Camargo Ribeiro (2008) descreve o processo do PBL como um ciclo composto por etapas que devem ser seguidas para garantir a eficácia da metodologia. Essas etapas são:

- a) apresentação do problema: um problema real ou simulado é apresentado aos alunos, que devem analisá-lo e defini-lo em grupo;
- b) análise e discussão: os alunos discutem o problema livremente, levantando hipóteses sobre suas causas e possíveis soluções;
- c) identificação de questões de aprendizagem: com base no problema, os alunos identificam os conceitos e teorias que precisam aprender para resolvê-lo;
- d) pesquisa autônoma: os alunos buscam, de forma independente, as informações e conhecimentos necessários para solucionar o problema;
- e) compartilhamento e aplicação: os alunos compartilham os conhecimentos adquiridos e aplicam-nos na resolução do problema;
- f) apresentação da solução: a solução é apresentada ao grupo e ao tutor, geralmente na forma de um relatório, projeto ou maquete;
- g) avaliação: os alunos avaliam o processo de solução do problema, o trabalho em grupo e seu próprio desempenho, promovendo a reflexão e a aprendizagem contínua.

De Camargo Ribeiro (2008) destaca que o PBL é uma metodologia que exige comprometimento tanto dos alunos quanto dos professores, pois coloca o aluno no centro do processo de aprendizagem, incentivando a autonomia e a responsabilidade. No contexto do Ensino de Engenharia, o PBL é particularmente eficaz para aproximar os alunos das situações reais do mercado de trabalho, desenvolvendo não apenas conhecimentos técnicos, mas também habilidades sociais e atitudinais essenciais para a prática profissional.



Mecânica das Estruturas I

No livro “Curso de Análise Estrutural”, Süsskind (1987) aborda os conceitos fundamentais da análise estrutural, como força, momento, equilíbrio estático, graus de liberdade e tipos de apoios, essenciais para determinar reações de apoio e esforços solicitantes em estruturas isostáticas. Na disciplina de Mecânica das Estruturas I, esses conceitos são aplicados para analisar vigas, pórticos e treliças, calculando esforços normais, cortantes e momentos fletores. Tais conceitos fundamentais servem como base para o estudo de estruturas mais complexas, permitindo aos estudantes e profissionais compreender e projetar sistemas estruturais seguros e eficientes.

O trabalho de De Oliveira *et al.* (2019) demonstra como o Excel® pode ser uma ferramenta eficaz para o ensino de conceitos de análise estrutural, especialmente no estudo de treliças planas. Ao combinar cálculos numéricos com visualização gráfica e a exibição do memorial de cálculo, a planilha desenvolvida oferece uma abordagem didática e dinâmica para o aprendizado de estruturas, alinhando-se com os objetivos da disciplina de Mecânica das Estruturas I e proporcionando uma base para o estudo de estruturas mais complexas.

Mecânica das Estruturas II

Na disciplina de Mecânica das Estruturas II, os conceitos de deslocamentos e rotações são inicialmente abordados por meio da linha elástica (que descreve a deformação de vigas sob carregamento), para, então, avançar para técnicas mais complexas de análise estrutural.

Segundo Hibbeler (2013), a linha elástica descreve a deformação de vigas sob carregamento transversal, e sua análise envolve a integração da equação diferencial da linha elástica, considerando as condições de contorno. Esses conceitos são essenciais para garantir que as estruturas atendam aos critérios de segurança e funcionalidade, evitando deformações excessivas que possam comprometer sua integridade ou desempenho.

Sousa *et al.* (2023) usaram o Excel® para desenvolver planilhas que analisam a linha elástica de vigas engastadas, calculando deflexões lineares e angulares e gerando gráficos das deformações. Os resultados mostraram a configuração deformada das estruturas e as áreas críticas que podem necessitar de reforço. Dessa forma, Sousa *et al.* (2023) demonstram que o Excel® facilita a modelagem de comportamentos estruturais, permitindo que estudantes visualizem e



compreendam a relação entre carga, geometria e resposta estrutural, aprimorando o aprendizado em Mecânica das Estruturas II.

Estruturas de concreto armado I

A disciplina de Estruturas de Concreto Armado I aborda o dimensionamento de elementos estruturais submetidos a flexão pura e simples, tais como vigas e lajes. Conceitos como cálculo de armaduras, verificação de estados limites (ELU e ELS) e detalhamento de peças são fundamentais para o projeto de estruturas de concreto (Li *et al.*, 2024). No entanto, o processo de dimensionamento envolve uma série de cálculos complexos e repetitivos, o que pode ser desafiador para os estudantes, especialmente quando se trata de integrar teoria e prática.

Dessa forma, Junior e De Oliveira (2014) demonstram que a utilização de planilhas eletrônicas pode otimizar significativamente o processo de dimensionamento de vigas de concreto armado, permitindo a realização de cálculos automatizados que consideram múltiplos parâmetros normativos e econômicos. No estudo conduzido pelos autores, a implementação de ferramentas computacionais, como o Solver, possibilitou a busca por soluções estruturais mais eficientes, reduzindo o tempo de análise e facilitando a compreensão dos impactos das variáveis no projeto final.

Portanto, ao incorporar planilhas eletrônicas como ferramenta pedagógica em Estruturas de Concreto Armado I, os estudantes podem desenvolver uma compreensão mais profunda dos princípios de dimensionamento, além de aprimorar suas habilidades analíticas e de tomada de decisão, tornando-se mais preparados para enfrentar desafios reais da engenharia estrutural.

Integração entre a ferramenta Excel® e teorias de aprendizagem

A integração de planilhas com teorias de aprendizagem, como a Aprendizagem Significativa (Ausubel) e PBL, transforma o Ensino de Engenharia, conectando novos conhecimentos a conceitos já aprendidos e incentivando a resolução de problemas reais. As planilhas automatizam cálculos complexos, permitem a simulação de cenários e facilitam a visualização gráfica, integrando teoria e prática. Segundo De Camargo Ribeiro (2008), essa abordagem promove autonomia, colaboração e habilidades práticas, ajudando a superar desafios como a falta de engajamento no ciclo básico. Conforme Li *et al.* (2024), o uso de planilhas prepara os estudantes para a prática profissional, estimulando uma



aprendizagem ativa e reflexiva. Dessa forma, ferramentas computacionais, combinadas com metodologias ativas, tornam o ensino mais dinâmico e alinhado às necessidades atuais da Engenharia.

METODOLOGIA

Este estudo tem como objetivo principal desenvolver planilhas no Excel® que auxiliem no processo de aprendizagem de disciplinas fundamentais da Engenharia Civil, como Mecânica das Estruturas I e II e Estruturas de Concreto Armado I. A motivação para essa proposta surge da necessidade de superar desafios comuns enfrentados pelos estudantes, como a complexidade dos cálculos, a dificuldade de visualização de conceitos abstratos e a falta de conexão entre teoria e prática. Com base na experiência do autor como estudante de Engenharia Civil e na revisão da literatura, as planilhas foram projetadas para automatizar cálculos, simular cenários e facilitar a visualização gráfica, promovendo uma aprendizagem mais dinâmica e significativa.

A metodologia adotada é de natureza teórica e descritiva, baseada na concepção e desenvolvimento de planilhas estruturais que sigam os princípios da Análise Estrutural e da Resistência dos Materiais (Hibbeler, 2010; 2013; Martha, 2022). O processo metodológico seguiu uma abordagem estruturada, considerando diretrizes para o uso de ferramentas computacionais no Ensino de Engenharia (Sana, 2017; Niazkar e Afzali, 2016; Mezhennaya e Pugachev, 2019). Assim, as funções matemáticas e lógicas do Excel® foram empregadas para automatizar cálculos de esforços solicitantes, deslocamentos e dimensionamento de elementos estruturais, assegurando a conformidade com as prescrições normativas da ABNT (NBR 6118:2023; NBR 6120:2019).

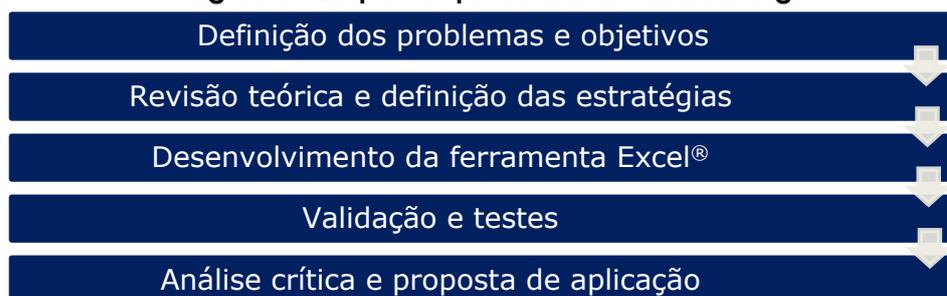
A fundamentação teórica também se apoia em teorias de aprendizagem como a Aprendizagem Significativa (Ausubel) e a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), destacada por Camargo Ribeiro (2008). Esses métodos incentivam o aprendizado ativo, permitindo que os estudantes resolvam desafios estruturais reais por meio das planilhas desenvolvidas, fortalecendo a autonomia e a capacidade analítica. Estudos anteriores demonstram a eficácia do uso do Excel® para Ensino de Engenharia, integrando conceitos teóricos e aplicabilidade prática (Woodbury *et al.*, 2008; Mendonça *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2019; Sousa *et al.*, 2023).



A validação das planilhas considerou estudos anteriores sobre sua aplicabilidade no Ensino de Engenharia, assegurando que as ferramentas desenvolvidas fossem pedagogicamente eficazes. Embora não tenha sido possível aplicá-las em sala de aula nesta fase do estudo, sua estrutura teórica e fundamentação metodológica estabelecem uma base para pesquisas futuras que possam testar sua eficácia em contextos educacionais práticos.

A seguir, a metodologia foi detalhada em etapas, descrevendo o processo de desenvolvimento das planilhas e como elas foram projetadas para facilitar o aprendizado de conceitos complexos em Engenharia Civil. Cada etapa foi explicada de forma que permitisse que outros pesquisadores possam replicar o trabalho ou adaptá-lo para suas próprias necessidades. As etapas da metodologia podem ser observadas na Figura 1 a seguir.

Figura 1 – Etapas do procedimento metodológico



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Nas seções seguintes, cada uma dessas etapas foi discutida e detalhada, proporcionando uma compreensão completa do método utilizado nesta pesquisa.

Definição dos problemas e objetivos

A etapa de definição dos problemas e objetivos teve foco em selecionar desafios comuns das disciplinas de Mecânica das Estruturas I e II e Estruturas de Concreto Armado I, como cálculo de esforços solicitantes, análise da linha elástica e dimensionamento de vigas de concreto armado, seguindo referências como Sússekind (1987), Hibbeler (2010), além da ABNT NBR 6118:2023.

Com relação aos objetivos, as planilhas projetadas buscavam automatizar cálculos complexos, simular cenários de diferentes carregamentos e facilitar a visualização gráfica, alinhando teoria e prática. Baseadas em teorias como Aprendizagem Significativa (Carvalho, Porto e Belhot, 2001) e PBL (De Camargo Ribeiro, 2008), as ferramentas visam promover a compreensão



conceitual, a aplicação prática e o desenvolvimento de habilidades como análise crítica e tomada de decisão.

Revisão teórica e definição das estratégias

A etapa de revisão teórica foi realizada utilizando bases de dados acadêmicos como Google Scholar, Scielo, Periódicos CAPES e Science Direct. Para a busca dos trabalhos foram utilizados termos como "Excel in engineering education", "Structural analysis with spreadsheets", "Excel for reinforced concrete design" e "Computational tools in education".

Além disso, as normas técnicas como NBR 6118:2023 e NBR 6120:2019 foram consultadas para alinhar as planilhas às práticas profissionais da Engenharia Civil. Com relação à estratégia adotada, foram incluídas a automação de cálculos, a simulação de cenários e a visualização gráfica, seguindo exemplos como De Oliveira *et al.* (2019) e Woodbury *et al.* (2008). A documentação do uso das planilhas, segundo Mendonça *et al.* (2017), garante que os usuários possam replicar e adaptar as ferramentas. Assim, a revisão teórica fundamentou o desenvolvimento de planilhas alinhadas às demandas acadêmicas e profissionais.

Desenvolvimento da ferramenta Excel®

A etapa de desenvolvimento da ferramenta Excel® foi essencial para este trabalho, focando na criação de planilhas que automatizam cálculos complexos, geram gráficos e fornecem resultados precisos para problemas comuns em Engenharia Civil. As planilhas foram projetadas para serem intuitivas, permitindo que os estudantes insiram dados básicos e obtenham resultados detalhados, como diagramas de esforços solicitantes, deformações da linha elástica e dimensionamento de vigas de concreto armado. O desenvolvimento seguiu uma abordagem estruturada, dividida em três subtópicos principais, cada um correspondendo a uma planilha específica:

- a) cálculo e elaboração de diagramas de esforços solicitantes;
- b) estudo da linha elástica;
- c) dimensionamento de vigas de concreto armado submetidas à flexão pura.

Em cada subtópico, foram inseridas fórmulas e funções para garantir precisão e eficiência, além de gráficos interativos para facilitar a visualização dos resultados. A seguir, detalha-se o processo de criação de cada planilha, incluindo *prints* que ilustram as etapas de desenvolvimento.

Desenvolvimento da planilha para cálculo e elaboração de diagramas de esforços solicitantes

Nesta etapa, foi desenvolvida uma planilha no Excel® com o objetivo de calcular os esforços solicitantes em estruturas submetidas a diferentes tipos de carregamento, como momentos fletores e esforço cortante, com base nas metodologias apresentadas por Sussekind (1987), Hibeller (2010; 2013) e Martha (2022). A planilha foi organizada em três seções principais: entrada de dados, cálculo de reações de apoio e apresentação de resultados (esforços solicitantes). As células de entrada permitem que o usuário forneça os seguintes dados necessários para os cálculos:

- tipo de estrutura: vigas biapoiadas isostáticas;
- características das cargas: tipos e intensidades das cargas aplicadas (concentradas e distribuídas) e suas localizações;
- propriedades da estrutura: comprimentos dos trechos da viga e suas condições de apoio.

O primeiro passo consistiu na criação da estrutura do painel de controle que contém todas as informações de entrada e saída da planilha. A seguir, na Figura 2, há um exemplo do painel de controle com diferentes configurações de entrada, de acordo com os itens descritos anteriormente (a, b e c).

Figura 2 – Criação das células de entrada do painel de controle (planilha esforços solicitantes)

ENTRADA DE DADOS			
CARGA MOMENTO CONCENTRADO			
Parâmetro	Valor	Horário	Unidade
M	70	6/70	kN·m
a _m			m
b _m	3,30		m
GEOMETRIA			
Parâmetro	Valor	Unidade	
l	10,00	m	
REAÇÕES DE APOIO			
VALORES DE MOMENTO FLETOR			
VALORES DE ESFORÇO CORTANTE			

① Entrada Carga Momento
 ② Entrada distância da carga até apoio A
 ③ Entrada distância da carga até apoio B
 ④ Definição das unidades de medida
 ⑤ Entrada do comprimento da viga
 ⑥ Modificador do sentido do Momento
 ⑦ Controlador da posição da carga

Fonte: elaborada pelo autor (2025).



Sendo assim, há células para entrada dos valores da carga, neste caso, momento concentrado (M), posição da mesma com relação aos apoios (a_m , b_m). Para que as cargas possam se mover ao longo da viga, é inserida uma barra de rolagem como a vista dentro das células C14 e D14 (Figura 2). Há, ainda, a célula para modificar o comprimento da viga (l) e também a opção de controlar o sentido (horário ou anti-horário) em que o momento concentrado atua. Já as células de saída geram como resultados:

- a) reações de apoio: sentido e força;
- b) esforços solicitantes: momento fletor e esforço cortante.

De acordo com Hibbeler (2010), para calcular os esforços solicitantes é preciso primeiramente encontrar as reações de apoio. Dessa forma, torna-se necessário compreender a definição das Equações de Equilíbrio. O equilíbrio de um corpo exige um equilíbrio de forças para impedir a translação e o equilíbrio de momento para impedir a rotação. A formulação das equações de equilíbrio estático aplicáveis a uma estrutura plana, consistem em três equações:

$$\sum F_x = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_z = 0 \quad (3)$$

Conforme De Almeida (2018), o cálculo dos esforços solicitantes em estruturas planas pode ser realizado seguindo dois raciocínios.

- a) considerando a ação das forças à direita ou à esquerda de uma seção S .
- b) considerando o equilíbrio das partes à direita e à esquerda.

O primeiro raciocínio, por ser mais direto e rápido, foi utilizado nos cálculos das equações inseridas no Excel®. Portanto, para o cálculo das reações V_a e V_b , foram inseridas nas células (9) as seguintes fórmulas, conforme Figura 3:

$$\sum M_z = 0 \therefore V_b = M/l \quad (4)$$

$$\sum F_y = 0 \therefore V_a = -V_b = -M/l \quad (5)$$

Figura 3 – Criação das células de saída do painel de controle (planilha esforços solicitantes)

ENTRADA DE DADOS			
CARGA MOMENTO CONCENTRADO			
Parâmetro	Valor		Unidade
M	70	Horário	kN·m
a _m	—	6,70	m
b _m	3,30		m
GEOMETRIA			
Parâmetro	Valor		Unidade
l	10,00		m
REAÇÕES DE APOIO			
V _a	-7,0	Para baixo	kN
V _b	7,0	Para cima	kN
VALORES DE MOMENTO FLETOR			
M _(x=0)	0		kN·m
M _(x=ae)	-46,9		kN·m
M _(x=ad)	23,1		kN·m
M _(x=l)	0		kN·m
VALORES DE ESFORÇO CORTANTE			
Q _(x=0)	-7,0		kN
Q _(x=l)	-7,0		kN

(8) Identificação do sentido das Reações de Apoio
 (9) Células de saída das Reações de Apoio
 (10) Células de saída dos Momentos Fletores
 (11) Células de saída dos Esforços Cortantes

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

As células com identificação (8) possuem o seguinte comando: SE(V_a>0; "Para cima";"Para baixo") ou SE(V_b>0;"Para cima";"Para baixo"). Dessa forma, é fornecido o sentido das reações de apoio.

Para o cálculo dos Momentos Fletores, foram inseridas nas células (10) (Figura 3) as seguintes fórmulas (considerando a ação das forças à direita ou à esquerda de uma seção S):

$$MF_{x=0} = 0 \quad (6)$$

$$MF_{x=ae} = V_a \cdot a_m \quad (7)$$

$$MF_{x=ad} = (V_a \cdot a_m) + M \quad (8)$$

$$MF_{x=l} = 0 \quad (9)$$

Para o cálculo dos esforços cortantes, foram inseridas nas células (11) (Figura 3) as seguintes fórmulas:

$$Q_{x=0} = V_a \quad (10)$$

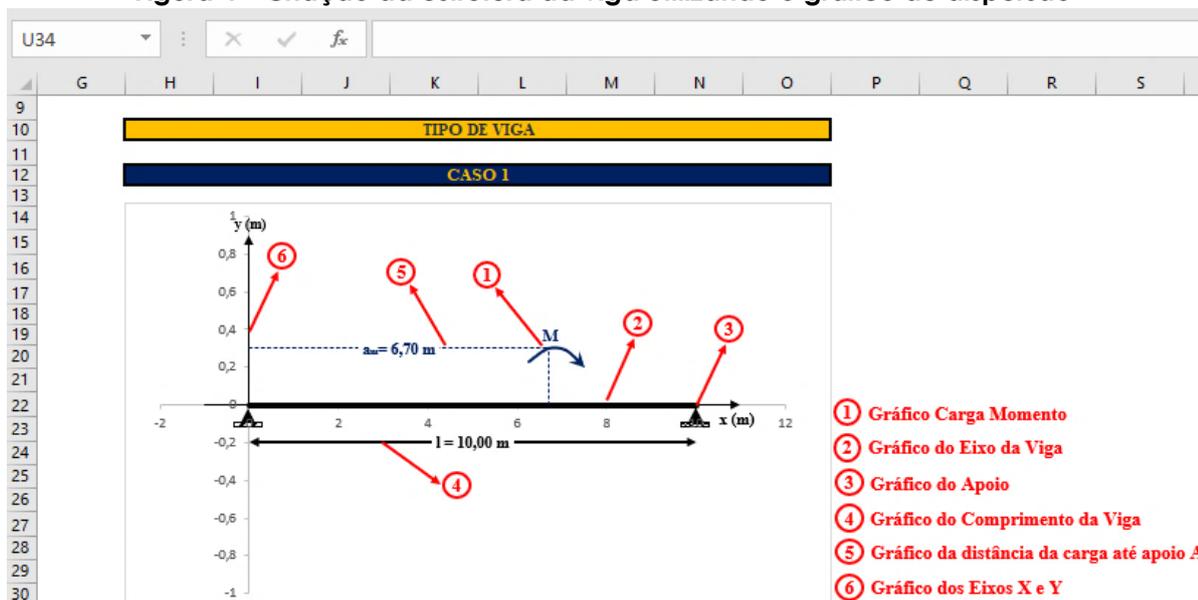
$$Q_{x=l} = -V_b \quad (11)$$

Os painéis de controle para Força Pontual e Cargas Distribuídas (uniformes, triangulares e trapezoidais) seguem os mesmos princípios. No caso das cargas distribuídas, elas permanecem fixas e não se movem ao longo da estrutura. Além dos cálculos, a planilha gera automaticamente os diagramas de momentos fletores e forças cortantes. Para isso, é seguido o seguinte passo:

- a) geração dos gráficos: utilizando as ferramentas de gráficos do Excel®, a planilha gera os diagramas de momentos fletores e forças cortantes, com base nos dados obtidos. Esses gráficos proporcionam uma visualização clara da distribuição dos esforços solicitantes ao longo da estrutura.

Sendo assim, por meio da opção de gráfico de dispersões e utilizando dados numéricos, é possível gerar graficamente a estrutura e os diagramas que se modificam automaticamente ao modificar seus dados de entrada. Na Figura 4, é possível observar um exemplo no Excel® da criação da estrutura sob carregamento.

Figura 4 – Criação da estrutura da viga utilizando o gráfico de dispersão

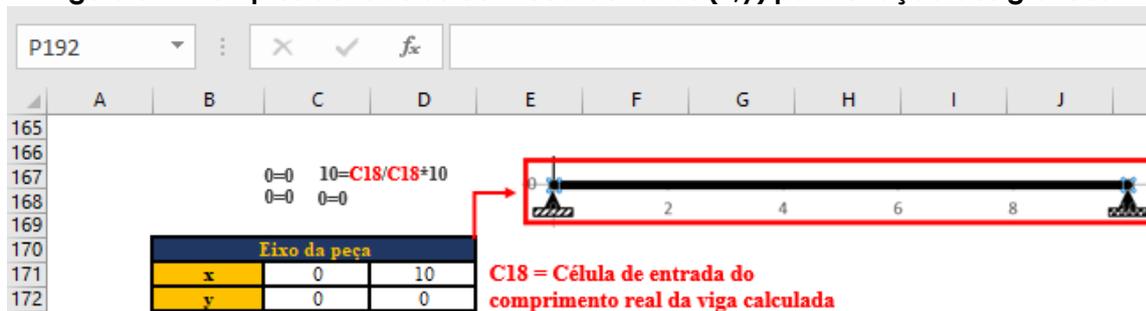


Fonte: elaborada pelo autor (2025).

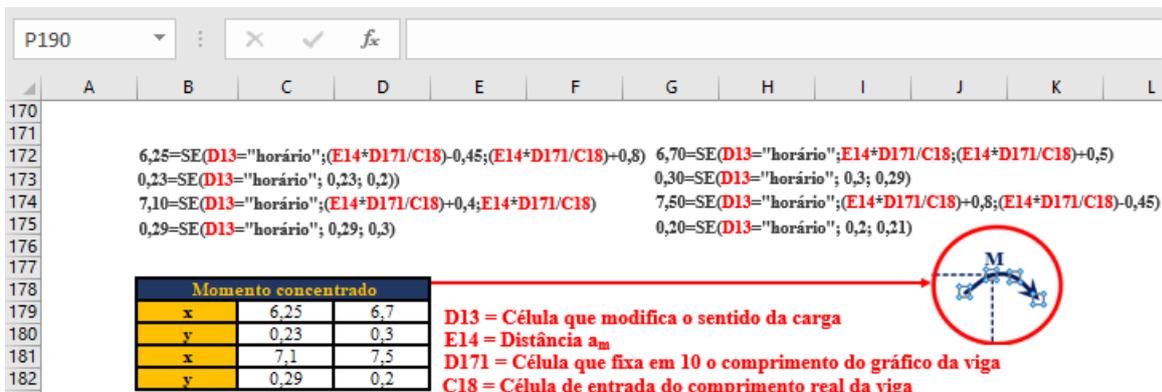
Todos os detalhes gráficos (setas, apoios, eixo da viga, diagramas) são criados a partir de tabelas nas quais coordenadas são inseridas para criar pontos e retas que compõem os gráficos de dispersão, como a criação do gráfico do eixo da viga. Para criá-lo, utilizou-se uma simples tabela com as seguintes coordenadas: (0; 0) e (l; 0) (procedimento visto na Figura 5a em que l (comprimento) equivale à célula C18). Assim, o Excel® traça uma reta que representa a viga.

Outras representações gráficas vistas na Figura 4 podem ser mais trabalhosas, como a criação da seta curva que representa o Momento Concentrado (M), pois ela foi feita para se movimentar ao longo da estrutura e também mudar de sentido (horário e anti-horário) de forma automática. Para fazê-la, foi necessário criar uma tabela (Figura 5b), contendo coordenadas que variam de acordo com as células em destaque, além da função “SE”, que retorna um valor a depender de D13.

Figura 5 – Exemplos de tabelas com coordenadas (x,y) para criação dos gráficos



a) Coordenadas do gráfico do eixo da viga



b) Coordenadas da seta curva que representa o Momento Concentrado (M)

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Todos os outros detalhes gráficos seguem o mesmo princípio, em que é necessário utilizar coordenadas para criar pontos e ligá-los, formando a estrutura graficamente. A opção “Selecionar fonte de dados”, ao clicar no gráfico, é utilizada para obter os dados e criar novos gráficos no programa.

Desenvolvimento da planilha para o cálculo e estudo da linha elástica

A planilha desenvolvida tem como objetivo facilitar a análise da linha elástica em vigas biapoiadas submetidas a três diferentes condições de carregamento, sendo elas uma Força Pontual (P), um Momento Concentrado (M) e uma Carga

Uniformemente Distribuída (q). A metodologia adotada se baseia nos princípios fundamentais da Resistência dos Materiais e Análise Estrutural, conforme apresentado por autores como Sussekind (1987), Hibbeler (2010, 2013) e Martha (2022).

A linha elástica é a curva que representa a deformação de uma viga quando submetida a carregamentos transversais externos. Segundo Hibbeler (2013), a linha elástica descreve os deslocamentos transversais (deflexões) e as inclinações (rotações) ao longo do comprimento da viga. A deflexão $v(x)$ é o deslocamento vertical de um ponto na viga em relação à sua posição original, enquanto a rotação $\theta(x)$ é o ângulo de inclinação da tangente à curva de deflexão em um determinado ponto. Esses conceitos são fundamentais para a análise estrutural, pois permitem avaliar a segurança e a funcionalidade de uma estrutura, garantindo que as deformações estejam dentro dos limites aceitáveis. A planilha desenvolvida foi organizada inicialmente por:

- a) entrada de dados: permite a inserção de informações relacionadas à geometria da estrutura, carregamentos aplicados e condições de apoio.

Dessa forma, o primeiro passo consistiu na criação da estrutura do painel de controle, de maneira semelhante à realizada para a planilha de esforços solicitantes, porém com apenas um painel de controle e três tipos de cargas. A seguir, na Figura 6, apresenta-se um exemplo do painel de controle com diferentes configurações de entrada, conforme os itens descritos anteriormente no item a).

Figura 6 – Criação das células de entrada do painel de controle (planilha linha elástica)

ENTRADA - DADOS DO PROBLEMA			
CARGA 1			
Parâmetro	Valor	Unidade	
q	200	N/m ²	
CARGA 2			
Parâmetro	Valor	Unidade	
P	45	N	
a_p	Para baixo	m	
b_p	0,86	m	
CARGA 3			
Parâmetro	Valor	Unidade	
M	1000	N·m	
a_m	Anti-horário	m	
b_m	0,50	m	
MATERIAL E GEOMETRIA			
Parâmetro	Valor	Unidade	
E	2,00E+09	N/m ²	
l	2,00	m	
b	0,30	m	
h	0,50	m	
I	0,003125	m ⁴	

- ① Célula de entrada para a Carga Distribuída
- ② Célula para modificar unidade
- ③ Célula de entrada para a Força Pontual
- ④ Modificar do sentido da Força Pontual
- ⑤ Controlador da posição da Carga Pontual
- ⑥ Posição da Força Pontual em relação ao apoio A
- ⑦ Posição da Força Pontual em relação ao apoio B
- ⑧ Célula de entrada do Momento Concentrado
- ⑨ Modificador do sentido do Momento Concentrado
- ⑩ Controlado da posição do Momento Concentrado
- ⑪ Posição do Momento Concentrado em relação ao apoio A
- ⑫ Posição do Momento Concentrado em relação ao apoio B
- ⑬ Célula de entrada do Módulo de Elasticidade
- ⑭ Célula de entrada do comprimento da viga
- ⑮ Células de entrada b e h (Dimensões seção transversal)
- ⑯ Células de entrada Momento de Inércia

Fonte: elaborada pelo autor (2025).



Esses carregamentos podem atuar de forma individual ou simultânea, a critério do usuário, permitindo uma análise flexível. A elaboração da planilha envolve a implementação das equações da linha elástica, derivadas da equação diferencial da curvatura. De acordo com Hibbeler (2010), a relação fundamental para a linha elástica de uma viga é:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI} \quad (12)$$

Essa é uma equação diferencial de segunda ordem e não linear. Sua solução, conhecida como linha elástica, descreve com precisão a forma da viga, considerando que as deflexões resultam exclusivamente da flexão (Hibbeler, 2010). A solução da equação requer integrações sucessivas e a adição de constantes de integração. No entanto, em muitos casos, não é necessário realizar essas integrações manualmente, pois as fórmulas para deflexão e rotação já estão disponíveis em bibliografias como Hibbeler (2010, 2013). Dessa forma, o uso de referências bibliográficas permite agilizar a análise estrutural sem a necessidade de deduzir as equações a cada novo problema.

Sendo assim, para o cálculo da deflexão, foram inseridas as equações correspondentes aos três tipos de carregamentos, sendo elas:

Força Pontual:

$$x < a : v = \frac{Pbx}{6EI} (l^2 - b^2 - x^2); \quad x > a : v = \frac{Pax(l-x)}{6EI} (2lx - a^2 - x^2) \quad (13)$$

Momento Concentrado:

$$x < a : v = \frac{Mx}{6EI} (l^2 - 3b^2 - x^2); \quad x > a : v = \frac{M(l-x)}{6EI} (x^2 - 3a^2 - 2lx^2) \quad (14)$$

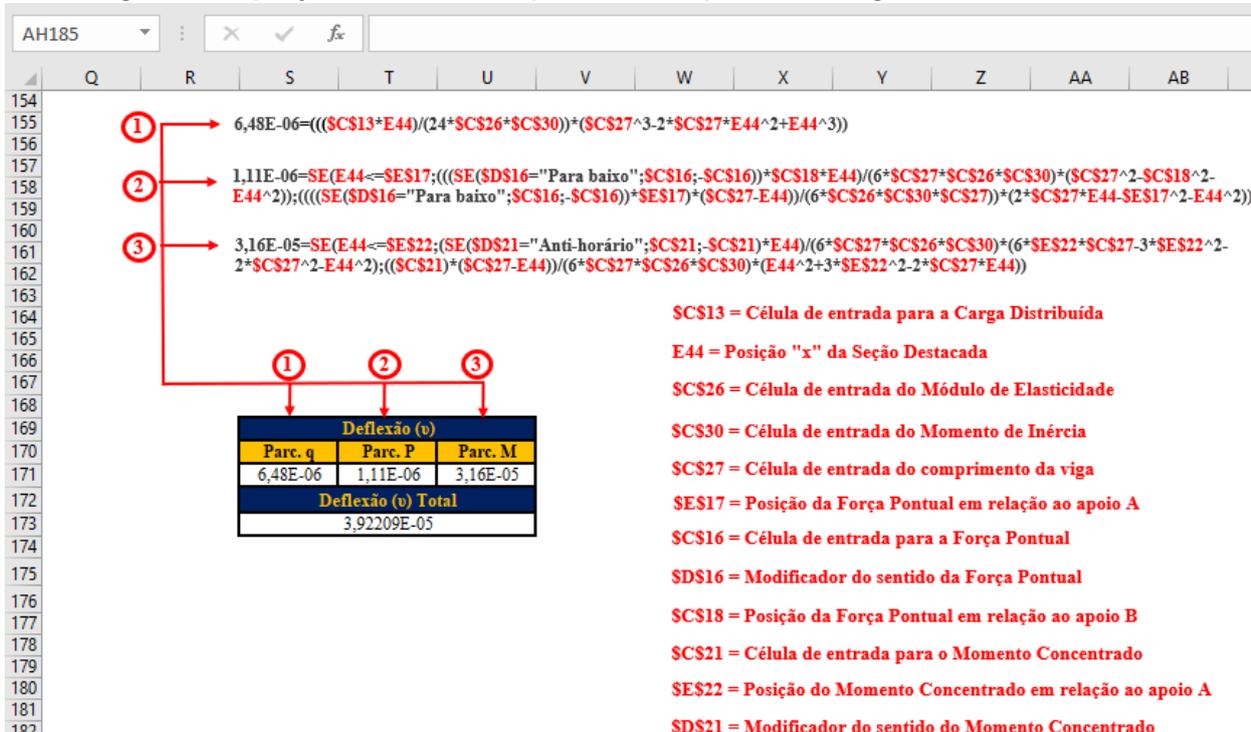
Carga Uniformemente Distribuída:

$$v = \frac{qx}{24EI} (l^3 - 2lx^2 - x^3) \quad (15)$$

Na Figura 7, a seguir, é possível observar que as equações para os três casos foram inseridas no Excel® e que, somando-se as parcelas q , P e M , é possível obter uma equação que calcula a deflexão total que ocorre na estrutura.



Figura 7 – Equações de deflexão para os três tipos de carregamentos no Excel®



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

O mesmo procedimento ocorreu para o cálculo da rotação, em que foram inseridas as equações correspondentes aos três tipos de carregamentos, sendo elas:

Força Pontual:

$$x < a : \theta = \frac{Pb}{6EI} (l^2 - b^2 - 3x^2); \quad x > a : \theta = \frac{Pa}{6EI} (-l^2 + a^2 + 3(l-x)^2) \quad (16)$$

Momento Concentrado:

$$x < a : \theta = \frac{M}{6EI} (l^2 - 3a^2 - 3x^2); \quad x > a : \theta = \frac{M}{6EI} (-l^2 + 3a^2 + 3(l-x)^2) \quad (17)$$

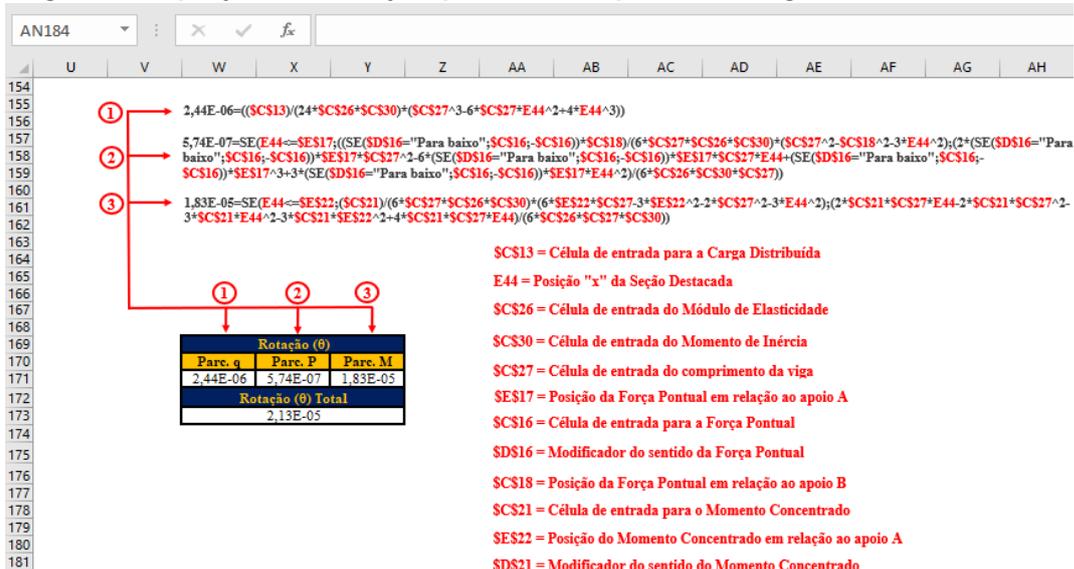
Carga Uniformemente Distribuída:

$$\theta = \frac{q}{24EI} (l^3 - 6lx^2 - 4x^3) \quad (18)$$

As equações da rotação $\theta(x)$ foram obtidas derivando uma vez as equações da deflexão $v(x)$ em relação a x . Após isso, foram inseridas no Excel® conforme visto na Figura 8. As equações para os três tipos de carregamentos também foram somadas, obtendo-se uma equação geral que calcula a rotação que ocorre em qualquer ponto x na estrutura, sendo a rotação máxima nos apoios e zero no ponto de aplicação do momento, onde a deflexão é máxima (Hibbeler, 2013).



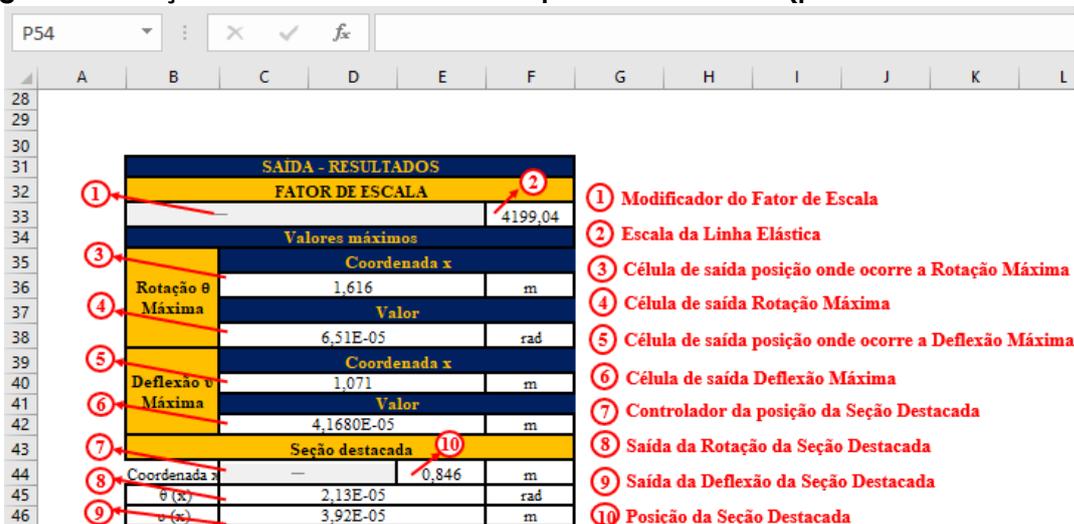
Figura 8 – Equações de rotação para os três tipos de carregamentos no Excel®



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Já a saída de resultados foi composta por dois elementos principais: saída de dados: células com valores numéricos de deflexão e rotação; e a representação gráfica da linha elástica. As equações de deflexão e rotação geram resultados que são transferidos para os itens (8) e (9), conforme Figura 9, referentes à seção destacada. Além disso, a planilha calcula a deflexão máxima (indica o maior deslocamento vertical que a viga sofre em resposta ao carregamento aplicado) e rotação máxima (representa a maior inclinação da viga em relação à sua posição original) e suas coordenadas *x*, visto nas células (3, 4, 5, 6).

Figura 9 – Criação das células de saída do painel de controle (planilha linha elástica)



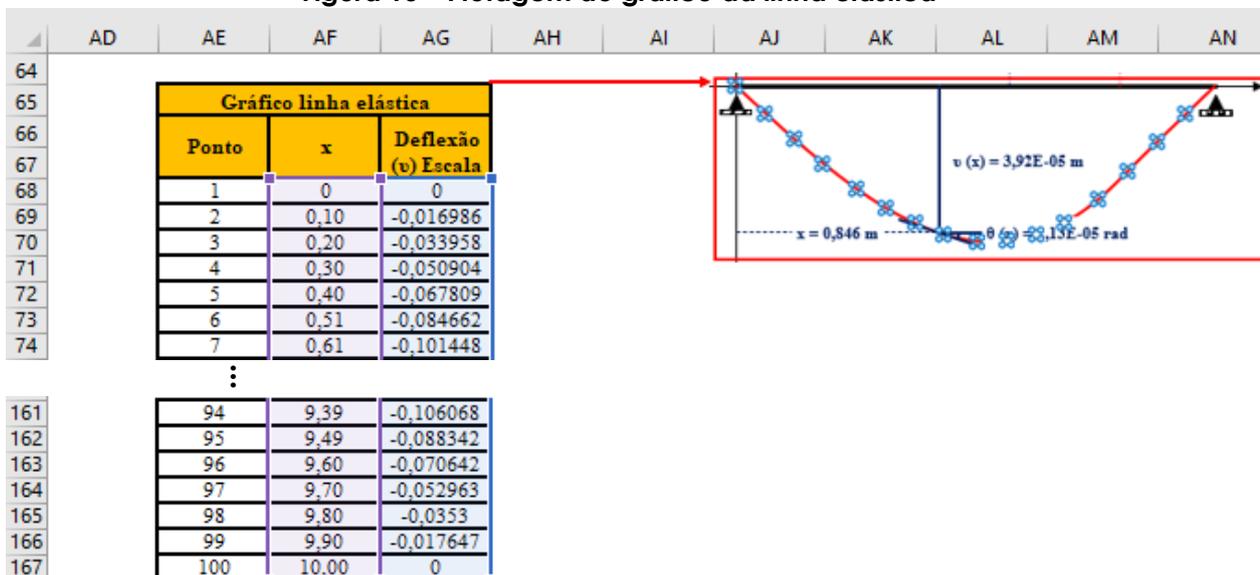
Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Por meio de gráficos de dispersão, foi possível plotar a forma deformada da viga, mostrando como a deflexão e a rotação variam ao longo do seu comprimento.

O gráfico de deflexão mostra a curva da linha elástica, ilustrando como a viga se deforma sob o carregamento aplicado. A escala do gráfico (célula 1, Figura 9) pode ser ajustada para melhorar a visualização, permitindo uma análise mais detalhada do comportamento da estrutura. Já o gráfico de rotação mostra a inclinação da viga em cada ponto, destacando as regiões em que a rotação é mais significativa. Esses gráficos são úteis para entender como a viga se inclina em resposta ao carregamento, especialmente em casos em que a rotação pode afetar o desempenho da estrutura.

Na Figura 10, é possível ver graficamente o formato da linha elástica que foi plotada utilizando valores de deflexões, correspondente a 100 pontos ao longo do eixo x da estrutura. Dessa forma, o gráfico oferece uma visão intuitiva da deformação da viga, facilitando a sua interpretação.

Figura 10 – Plotagem do gráfico da linha elástica



Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Desenvolvimento da planilha para dimensionamento de vigas de concreto armado submetidas à flexão pura

O estudo da flexão em vigas de concreto armado é fundamental para o dimensionamento de estruturas, garantindo que estas atendam aos requisitos de segurança, durabilidade e desempenho. A flexão pura ocorre quando uma viga é



submetida a momentos fletores que causam deformações longitudinais, resultando em tensões de tração e compressão ao longo da seção transversal. Segundo Hibbeler (2013), a análise da flexão pura permite determinar as tensões e deformações na viga, bem como a distribuição de esforços solicitantes, como o momento fletor e o esforço cortante.

O dimensionamento de vigas de concreto armado envolve a consideração de diversos parâmetros, como as solicitações (momento fletor característico M_k), as resistências dos materiais (resistência do concreto f_{ck} e do aço f_{yk}), a geometria da seção transversal (altura h , largura b , altura útil d e d'). A NBR 6118:2023, norma brasileira que trata de projetos de estruturas de concreto armado, estabelece os critérios para o dimensionamento, incluindo os limites de deformação para o concreto e o aço, os domínios de deformação e os métodos para cálculo da armadura necessária. Nesse contexto, o uso de planilhas eletrônicas, como o Excel®, surge como uma ferramenta eficiente para automatizar os cálculos de dimensionamento.

Conforme Oliveira *et al.* (2019), o Excel® é amplamente utilizado no ensino e na prática profissional da Engenharia Civil, devido à sua flexibilidade, facilidade de uso e capacidade de realizar cálculos complexos de forma rápida e precisa. A planilha desenvolvida para o dimensionamento de vigas de concreto armado submetidas à flexão pura permite:

- a) entrada de dados: células de entrada da geometria da seção transversal (altura h , largura b , altura útil d , d'), definição das propriedades dos materiais (resistência do concreto f_{ck} e do aço f_{yk}), inserção do momento fletor característico M_k , que é automaticamente convertido em momento solicitante de cálculo M_d , considerando os coeficientes de ponderação estabelecidos pela NBR 6118:2023.
- b) identificação do grupo do concreto: a planilha identifica automaticamente se o concreto pertence ao Grupo 1 (concreto de resistência até 50 MPa) ou ao Grupo 2 (concreto de resistência superior a 50 MPa), conforme a NBR 6118:2023. Essa classificação é importante, pois influencia os limites de deformação do concreto e do aço.

Na Figura 11 é possível observar as células de entrada criadas para inserção dos parâmetros mencionados nos itens a e b.



Figura 11 – Criação das células de entrada do painel de controle (planilha concreto armado)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
10														
11		SOLICITAÇÕES												
12														
13		Momento Característico				Unidade								
14		M_k	9500											
15		Momento Solicitante				Unidade								
16		M_{sd}	15300											
17		RESISTÊNCIAS												
18														
19		Concreto		Grupo I		Unidade								
20		f_{ck}	30											
21		f_{cd}	2,14											
22		Aço		Unidade										
23		f_{yk}	500											
24		f_{yd}	43,48											
25		GEOMETRIA												
26														
27		Seção transversal				Unidade								
28		b_w	20											
29		h	40											
30		d'	5,00											
31		d	35,00											
32		PARÂMETROS ADIMENSIONAIS												
33														
34		α_c				0,85								
35		λ				0,8								
36		η_c				1,00								

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Já as células de saída fornecem como resultado:

- determinação do domínio de deformação: com base nas deformações calculadas, a planilha identifica o domínio de deformação (Domínio 2, 3 ou 4), que define o comportamento da viga sob flexão. Essa informação é crucial para o dimensionamento da armadura, pois cada domínio tem implicações diferentes no estado de deformação da viga.
- cálculo da armadura: a planilha calcula a área de aço necessária para resistir ao momento fletor solicitante, considerando tanto o dimensionamento de armadura simples quanto de armadura dupla, quando necessário.

Para o dimensionamento da estrutura, foi necessário aplicar a equação da linha neutra:

$$-0,5\alpha_c\eta_c\lambda^2\beta_x^2 + \alpha_c\eta_c\lambda\beta_x - \frac{M_{sd}}{b_w d^2 f_{cd}} = 0 \quad (0 \leq \beta_x \leq 1) \quad (19)$$

Essa equação pode ser escrita na forma geral ($ax^2 + bx + c$), em que os coeficientes (a), (b) e (c) correspondem respectivamente à primeira parcela: $a = -0,5\alpha_c\eta_c\lambda^2\beta_x^2$; à segunda parcela: $b = \alpha_c\eta_c\lambda\beta_x$ e à terceira parcela da equação: $c = -M_{sd}/b_w d^2 f_{cd}$. O discriminante (Δ) da equação é calculado por ($\Delta = ax^2 + bx +$

$c)$, e as raízes (x_1) e (x_2) são obtidas pela fórmula de Bhaskara: $(x = (-b \pm \sqrt{\Delta})/2a)$. Na Figura 12, é possível verificar como cada parcela organizada está inserida na planilha.

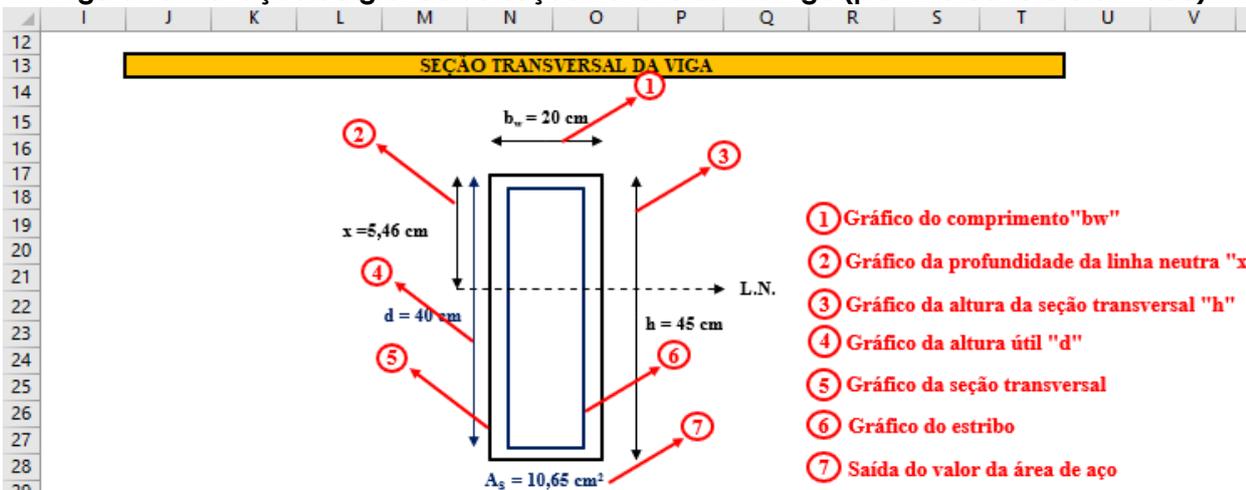
Figura 12 – Criação das células de saída do painel de controle (Planilha Concreto Armado)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
43													
44		CÁLCULO DA LINHA NEUTRA											
45													
46		a				-0,320							
47		b				0,6800							
48		c				-0,2233							
49		Δ				0,1868							
50		x_1				0,4556							
51		x_2				2,0444							
52		β_s				0,4556							
53		Profundidade da linha neutra		Unidade									
54		x				15,94							
55		VERIFICAÇÃO DE DOMÍNIO											
56		Limites											
57													
58		$\beta_{s,23}$				0,259							
59		$\beta_{s,34}$				0,628							
60		Domínio											
61		β_s				Domínio 3							

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Por meio do Excel® é possível representar a seção transversal da viga utilizando o gráfico de dispersão (Figura 13). Essa ferramenta facilita a visualização dos resultados a partir de um gráfico que se modifica automaticamente à medida que os valores utilizados nas células de entrada se modificam.

Figura 13 – Criação do gráfico da seção transversal da viga (planilha concreto armado)



Fonte: elaborada pelo autor (2025).



VALIDAÇÃO E TESTES

A validação e os testes das planilhas desenvolvidas foram conduzidos para verificar a precisão dos cálculos e a coerência dos resultados. A primeira planilha, voltada para o cálculo e elaboração de diagramas de esforços solicitantes, foi testada em diferentes condições de carregamento. Os resultados foram comparados com soluções analíticas e também validados utilizando os *softwares* Ftool® e Robot Structural Analysis®, que são amplamente usados para análise estrutural. A segunda planilha, destinada ao cálculo e ao estudo da linha elástica, foi validada com base na comparação com referências teóricas. Os valores foram analisados também no Ftool® e no Robot Structural Analysis®, permitindo uma checagem visual e numérica da deformação das estruturas. A terceira planilha, que trata do dimensionamento de vigas de concreto armado submetidas à flexão pura, foi validada com base nas diretrizes da NBR 6118 (2023). Os cálculos da armadura e da linha neutra foram conferidos por meio de exemplos teóricos e também utilizando os *softwares* TQS® e Cypecad®, que são amplamente utilizados no dimensionamento de estruturas de concreto armado.

ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSTA DE APLICAÇÃO

A análise crítica das planilhas foi realizada para avaliar a estrutura das ferramentas desenvolvidas, identificando possíveis melhorias e verificando sua aplicabilidade no ensino e na prática profissional. Para isso, foram analisadas a organização dos cálculos, a clareza das entradas e saídas de dados e a funcionalidade dos gráficos gerados. Também foram verificadas eventuais limitações que pudessem comprometer sua utilização em diferentes cenários de aplicação. A proposta de aplicação das planilhas considerou sua utilização como ferramenta auxiliar no ensino de Engenharia Civil, permitindo maior interação dos estudantes com os conceitos abordados. A abordagem adotada segue os princípios da Aprendizagem Significativa de Ausubel, permitindo que os alunos relacionem os novos conhecimentos adquiridos com conceitos já assimilados. Ao proporcionar uma experiência prática interativa, as planilhas favorecem a construção de um aprendizado duradouro e aplicável a problemas reais da engenharia. Além disso, a análise das planilhas foi fundamentada nos conceitos da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), conforme discutido por De Camargo Ribeiro (2008). A utilização dessas ferramentas possibilita que os estudantes



desenvolvam habilidades de resolução de problemas, estimulando o raciocínio crítico e a autonomia na busca por soluções.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir da aplicação das três planilhas desenvolvidas. Para validar sua precisão e aplicabilidade, foram resolvidos problemas práticos, abrangendo diferentes tipos de carregamentos e condições de contorno, permitindo uma análise comparativa dos valores obtidos. A abordagem seguiu a metodologia de validação adotada em análises estruturais, conforme descrito por Hibbeler (2013), Leet, Uang e Gilbert (2014) e Martha (2022). Os exemplos selecionados possibilitam a verificação dos resultados das planilhas em relação a cálculos manuais e a *softwares* amplamente utilizados na Engenharia Civil, como Ftool®, Robot Structural Analysis®, TQS® e Cypacad®, que são reconhecidos por sua eficácia na modelagem e análise estrutural. Cada problema foi resolvido de forma detalhada, apresentando os dados de entrada, os resultados gerados, demonstrando a precisão das ferramentas.

Além disso, foram incluídas imagens dos painéis de controle das planilhas, ilustrações dos carregamentos aplicados e gráficos dos diagramas de esforços solicitantes, linha elástica, seções transversais, garantindo uma visualização clara e objetiva dos resultados. A utilização de gráficos e representações visuais no ensino de engenharia estrutural é essencial para a melhor compreensão dos fenômenos mecânicos envolvidos (De Almeida, 2009; Mezhennaya e Pugachev, 2019). A discussão também aborda a relação dos resultados com teorias de aprendizagem consolidadas, como a Aprendizagem Significativa de Ausubel e a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), conforme De Camargo Ribeiro (2008). Essas abordagens ressaltam como a interação com as planilhas permite que os estudantes desenvolvam um aprendizado mais dinâmico e aplicado, relacionando conceitos abstratos a problemas reais.

A seguir, são apresentados os resultados e a análise de cada planilha, iniciando pelo cálculo de esforços solicitantes, seguido pelo estudo da linha elástica e finalizando com o dimensionamento de vigas de concreto armado.

Problema 1: viga biapoiada sob momento concentrado (diagramas de esforços)

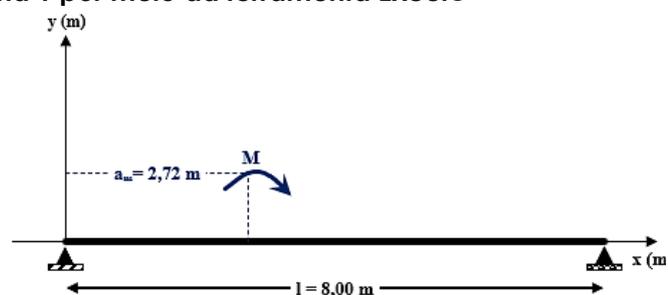
Uma viga biapoiada com 8 metros de comprimento foi submetida a um momento concentrado de 120 kNm (sentido horário), aplicado a 2,72 metros do primeiro apoio A. A Figura 14a apresenta o painel de controle da planilha, onde são inseridas as configurações de entrada, incluindo o comprimento da viga, a posição e o valor do momento aplicado. A Figura 14b ilustra a viga com o carregamento especificado, enquanto na Figura 14c é possível observar o diagrama de momento fletor gerado automaticamente pela planilha.

A planilha realizou o cálculo das reações de apoio, obtendo $V_a = -15 \text{ kN}$ (para baixo) e $V_b = 15 \text{ kN}$ (para cima). O diagrama de momento fletor (Figura 14c) evidencia uma descontinuidade na posição do momento aplicado, refletindo na mudança abrupta no valor do momento fletor. À esquerda do ponto de aplicação, o momento é de $-40,8 \text{ kNm}$, enquanto, à direita, assume o valor de $+79,2 \text{ kNm}$. Como esperado para vigas biapoiadas submetidas a momento concentrado, o momento fletor é nulo nos apoios e apresenta variação linear entre os trechos.

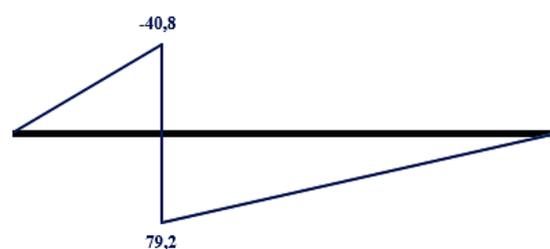
Figura 14 – Resolução do problema 1 por meio da ferramenta Excel®

ENTRADA DE DADOS			
CARGA MOMENTO CONCENTRADO			
Parâmetro	Valor	Unidade	
M	120	Horário	kN·m
a_m	2,72		m
b_m	5,28		m
GEOMETRIA			
Parâmetro	Valor	Unidade	
l	8,00		m
REAÇÕES DE APOIO			
V_A	-15,0	Para baixo	kN
V_B	15,0	Para cima	kN
VALORES DE MOMENTO FLETOR			
$M_{(x=0)}$	0		kN·m
$M_{(x=a)}$	-40,8		kN·m
$M_{(x=b)}$	79,2		kN·m
$M_{(x=l)}$	0		kN·m
VALORES DE ESFORÇO CORTANTE			
$Q_{(x=0)}$	-15,0		kN
$Q_{(x=l)}$	-15,0		kN

a) Painel de dados



b) Momento concentrado



c) Diagrama de Momento Fletor (kNm)

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Problema 2: viga biapoiada sob força pontual (diagramas de esforços)

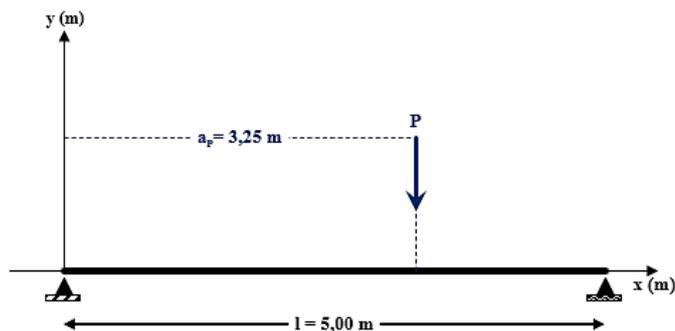
Uma viga biapoiada com 5 metros de comprimento foi submetida a uma força pontual de 90 kN (agindo de cima para baixo), aplicada a 3,25 metros do apoio A. A Figura 15a apresenta o painel de controle da planilha com as configurações de entrada, incluindo o comprimento da viga, a posição e o valor da força aplicada. A Figura 15b ilustra a viga com o carregamento aplicado, enquanto a Figura 15c mostra o diagrama de esforço cortante gerado pela planilha.

A planilha calculou as reações nos apoios A e B, resultando em $V_a = 54\text{ kN}$ (para cima) $V_b = 36\text{ kN}$ (para cima), valores que equilibram a força aplicada. O diagrama gerado (Figura 15c) mostra um salto no esforço cortante na posição da força aplicada (3,25 m), com valores de +31,5 kN à esquerda e -58,5 kN à direita do ponto de aplicação. O esforço cortante é constante entre os apoios e a força aplicada.

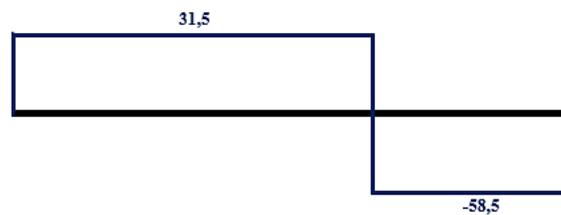
Figura 15 – Resolução do problema 2 por meio da ferramenta Excel®

ENTRADA DE DADOS			
CARGA FORÇA PONTUAL			
Parâmetro	Valor		Unidade
P	90	Para baixo	kN
a_p	—	3,25	m
b_p	1,75		m
GEOMETRIA			
Parâmetro	Valor		Unidade
l	5,00		m
REAÇÕES DE APOIO			
V_A	32	Para cima	kN
V_B	59	Para cima	kN
VALORES DE MOMENTO FLETOR			
$M_{(x=0)}$	0		kN·m
$M_{(x=a)}$	102,4		kN·m
$M_{(x=l)}$	0		kN·m
VALORES DE ESFORÇO CORTANTE			
$Q_{(x=0)}$	31,5		kN
$Q_{(x=a)}$	31,5		kN
$Q_{(x=a)}$	-58,5		kN
$Q_{(x=l)}$	-58,5		kN

a) Painel de dados



b) Força pontual



c) Diagrama Esforço Cortante (kN)

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Os resultados obtidos foram comparados com cálculos com os softwares Ftool® e Robot Structural Analysis®, que são amplamente utilizados na análise estrutural. A concordância total entre os valores reforça a precisão da planilha para os casos analisados. A ferramenta se mostrou eficaz no cálculo das reações de apoio e na



geração dos diagramas de momento fletor e esforço cortante, confirmando sua aplicabilidade na análise de vigas isostáticas.

A representação gráfica dos diagramas (Figura 14c e Figura 15c) facilita a interpretação dos esforços solicitantes ao longo da viga, tornando a ferramenta útil para análises estruturais, especialmente em contextos acadêmicos (Sousa *et al.*, 2023). Além disso, a planilha permite que os estudantes estabeleçam conexões entre novos conceitos, como o cálculo de esforços solicitantes, e fundamentos previamente aprendidos, como equilíbrio estático e diagramas de corpo livre, alinhando-se à teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

A resolução de problemas práticos, como o cálculo de esforços solicitantes, estimula o raciocínio e a aplicação de conceitos teóricos em situações reais, reforçando a abordagem de Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) discutida por De Camargo Ribeiro (2008). A planilha atua como um instrumento interativo, permitindo que os estudantes testem hipóteses, validem cálculos e analisem graficamente os resultados gerados pela ferramenta, promovendo um aprendizado mais dinâmico e participativo (Mezhennaya e Pugachev, 2019). Os problemas 1 e 2, resolvidos com a planilha, reforçam conceitos fundamentais de equilíbrio estático e distribuição de esforços solicitantes, essenciais para o estudo de vigas em Mecânica das Estruturas I (De Almeida, 2009; Leet, Uang e Gilbert, 2014). A visualização e interpretação dos resultados se tornam mais acessíveis, contribuindo para a melhor assimilação dos conteúdos.

As planilhas são mais adequadas para vigas biapoiadas e engastadas, sendo necessário expandir suas funcionalidades para casos mais complexos, como vigas hiperestáticas ou submetidas a carregamentos dinâmicos. No entanto, seu uso já se mostra relevante para o ensino de conceitos teóricos e para a resolução de problemas práticos em disciplinas como Mecânica das Estruturas, além de possibilitar análises preliminares e verificações rápidas de esforços solicitantes em vigas.

Problema 3: viga biapoiada sob momento concentrado, força pontual e carga uniformemente distribuída (linha elástica)

Uma viga biapoiada com 1 metro de comprimento foi submetida a três tipos de carregamento simultâneos (Figura 16a): Carga uniformemente distribuída: $q = 1000 \text{ kN/m}$; Força pontual: $P = 100 \text{ kN}$, aplicada a $0,43 \text{ m}$ do apoio A; e Momento concentrado: $M = 1000 \text{ kNm}$, aplicado a 91 m do apoio A. As propriedades do material e da seção transversal da viga são: Módulo de elasticidade: $E = 200 \text{ Gpa}$;



Seção transversal, visto na Figura 16c: $0,20\text{ m} \times 0,40\text{ m}$; Momento de inércia: $I = 0,001066667\text{ m}^4$.

A planilha foi utilizada para calcular a linha elástica da viga, fornecendo os valores de deflexão máxima, rotação máxima e os valores em uma seção específica definida pelo usuário. Os resultados obtidos consistem em: Deflexão Máxima: $0,000035888\text{ m}$ na posição: $x = 0,556\text{ m}$; Rotação Máxima: $0,000139\text{ rad}$ na posição: $x = 0,919\text{ m}$. Para a Seção Destacada (posição $x = 0,260\text{ m}$), tem-se: Deflexão: $0,0000236\text{ m}$ e Rotação: $0,0000755\text{ rad}$.

Os resultados obtidos pela planilha foram comparados com o software Ftool® e o Robot Structural Analysis®, apresentando uma concordância de 99,57% para deflexão e 99,06% para rotação.

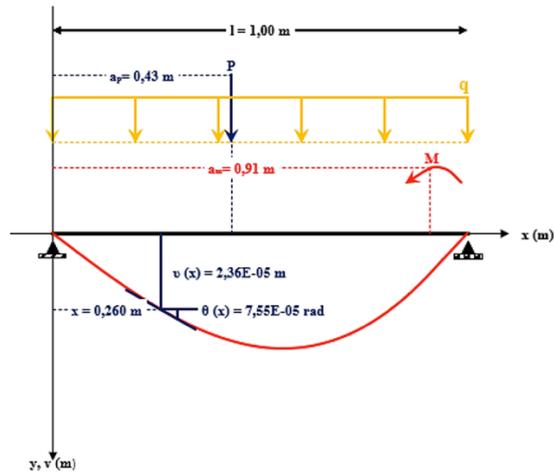
A deflexão máxima ocorreu próximo ao centro da viga ($x = 0,556\text{ m}$), enquanto a rotação máxima foi observada próximo ao ponto de aplicação do momento concentrado ($x = 0,919\text{ m}$). A possibilidade de definir uma seção específica para análise, neste caso $x = 0,260\text{ m}$ (Figura 16b), permite ao usuário avaliar o comportamento da viga em pontos críticos, como regiões próximas a apoios ou cargas concentradas. Essa funcionalidade é particularmente útil em projetos estruturais, nos quais a verificação de deslocamentos e rotações em pontos específicos é essencial para garantir a segurança e a funcionalidade da estrutura.



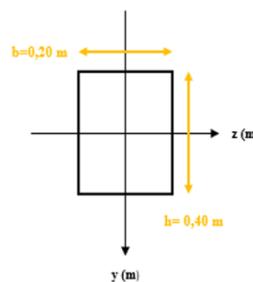
Figura 16 – Resolução do problema 3 por meio da ferramenta Excel®

ENTRADA - DADOS DO PROBLEMA			
CARGA 1			
Parâmetro	Valor	Unidade	
q	1000	N/m²	
CARGA 2			
Parâmetro	Valor	Unidade	
P	100	Para baixo	N
a _p	0,43	m	
b _p	0,57	m	
CARGA 3			
Parâmetro	Valor	Unidade	
M	1000	Anti-horário	N·m
a _M	0,91	m	
b _M	0,09	m	
MATERIAL E GEOMETRIA			
Parâmetro	Valor	Unidade	
E	2,00E+09	N/m²	
l	1,00	m	
b	0,20	m	
h	0,40	m	
I	0,001066667	m ⁴	
SAÍDA - RESULTADOS			
FATOR DE ESCALA			
=		14184,81	
Valores máximos			
Rotação θ Máxima	Coordenada x		
	0,919		m
Deflexão v Máxima	Valor		
	1,39E-04		rad
Deflexão v Máxima	Coordenada x		
	0,556		m
Deflexão v Máxima	Valor		
	3,5888E-05		m
Seção destacada			
Coordenada x	0,260	m	
θ (x)	7,55E-05	rad	
v (x)	2,36E-05	m	

a) Painel dados de entrada e saída



b) Linha Elástica



c) Seção reta

Fonte: elaborada pelo autor (2025).

Problema 4: viga sob flexão pura (dimensionamento vigas de concreto armado)

Uma viga de concreto armado foi dimensionada para resistir a um momento característico de $7000 \text{ kN} \cdot \text{cm}$, resultando em um momento solicitante de cálculo de 8900 kNcm . As propriedades do material e da seção transversal da viga são: $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$. A geometria: largura da seção: $b_w = 20 \text{ cm}$; altura total: $h = 45 \text{ cm}$; altura útil: $d = 40 \text{ cm}$; distância da região mais comprimida ao centro de gravidade da armadura: $d' = 5 \text{ cm}$. Para os parâmetros adimensionais, têm-se: $\alpha_c = 0,85$ (coeficiente de ponderação do concreto); $\lambda = 0,8$ (relação entre a altura da linha neutra e a altura útil); $\eta_c = 1$ (coeficiente de ajuste do diagrama de tensões no concreto). Para as deformações: deformação específica do concreto no início do patamar plástico: $\epsilon_{c2} = 2\%$; deformação específica última

do concreto: $\varepsilon_{cu} = 3,5\%$; deformação específica de escoamento do aço: $\varepsilon_{yd} = 2,07\%$.

Os resultados obtidos mostram a posição da Linha Neutra: $x = 14,80 \text{ cm}$; $\beta_x = x/d = 0,37$. Sabe-se que os domínios de deformação limites são: $\beta_{x23} = 0,259$ (Domínio 2) e $\beta_{x34} = 0,628$ (Domínio 3). Então, como $0,259 < \beta_x = 0,37 < 0,628$, a viga está no Domínio 3, onde o aço tracionado já atingiu o escoamento ($\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd}$) e o concreto comprimido está no regime plástico ($\varepsilon_c \geq \varepsilon_{c2}$). Por fim, calculou-se a armadura simples com área de aço necessária: $A_s = 6,61 \text{ cm}^2$.

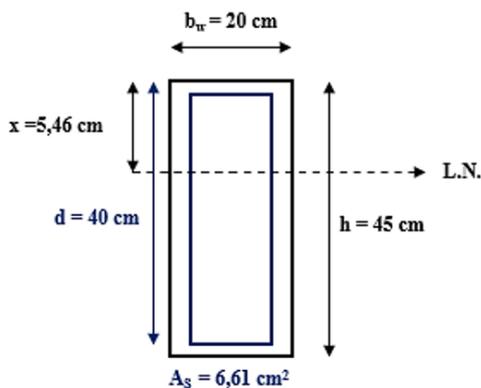
Figura 17 – Resolução do problema 4 por meio da ferramenta Excel®

SOLICITAÇÕES		
Momento Característico		Unidade
M_k	7000	kN·cm
Momento Solicitante		Unidade
M_{sd}	9800	kN·cm
RESISTÊNCIAS		
Concreto	Grupo I	Unidade
f_{ck}	20	Mpa
f_{cd}	1,43	kN/cm ²
Aço		Unidade
f_{yk}	500	Mpa
f_{yd}	43,48	kN/cm ²
GEOMETRIA		
Seção transversal		Unidade
b_w	20	cm
h	45	cm
d'	5,00	cm
d	40,00	cm
PARÂMETROS ADIMENSIONAIS		
α_c	0,85	
λ	0,8	
η_c	1,00	

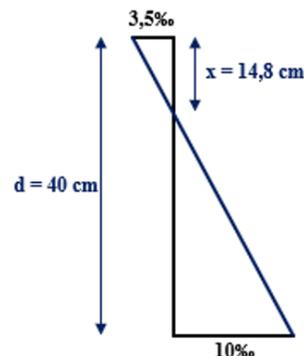
a) Painel de entrada

DEFORMAÇÕES	
ε_{c2}	2,00E-03
ε_{cu}	3,50E-03
ε_{yd}	2,07E-03
Módulo de elasticidade	
E_s	210000
	Mpa
CÁLCULO DA LINHA NEUTRA	
a	-0,2720
b	0,6800
c	-0,2144
Δ	0,2292
x_1	0,3700
x_2	2,1300
β_x	0,3700
Profundidade da linha neutra	
x	14,80
	cm
VERIFICAÇÃO DE DOMÍNIO	
Limites	
β_{x23}	0,259
β_{x34}	0,628
Domínio	
β_x	Domínio 3

b) Painel de saída



c) Seção transversal



d) Diagrama de deformações

Fonte: elaborada pelo autor (2025).



Os resultados obtidos pela planilha (Figura 17) foram comparados com cálculos manuais e com as prescrições da NBR 6118:2023, apresentando uma concordância de 100%. A viga foi dimensionada no Domínio 3, que é o domínio preferencial para o dimensionamento de vigas de concreto armado, pois garante ductilidade à estrutura, com o aço tracionado escoando e o concreto comprimido atingindo sua deformação última. A área de aço calculada ($A_s = 6,61 \text{ cm}^2$) é suficiente para resistir ao momento solicitante de cálculo, e a planilha demonstrou eficiência na determinação da linha neutra, do domínio de deformação e da armadura necessária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração das três planilhas eletrônicas para as disciplinas de Mecânica das Estruturas I, Mecânica das Estruturas II e Estruturas de Concreto Armado evidenciou o potencial da integração entre ferramentas tecnológicas e metodologias pedagógicas inovadoras no ensino de Engenharia Civil. Ao incorporar princípios da Aprendizagem Significativa e da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), as planilhas realizam mais do que a automatização de cálculos, tornando-se instrumentos que conectam teoria e prática, estimulam a análise crítica e incentivam a resolução de problemas contextualizados.

As vantagens observadas, como agilidade na verificação de hipóteses, visualização de resultados em tempo real e flexibilidade para adaptação de cenários, reforçam a eficiência das planilhas como apoio ao processo educativo. Contudo, é fundamental reconhecer as limitações, como a dependência de conhecimentos básicos em Excel® e o risco de superficialidade na compreensão teórica caso as ferramentas não sejam utilizadas de forma complementar a discussões e atividades práticas guiadas.

As propostas de aplicação sugeridas, como uso em estudos de caso, simulações de projetos reais e atividades colaborativas, destacam o alinhamento das planilhas com demandas do mercado, preparando os estudantes para desafios profissionais que exigem precisão e criatividade. De forma geral, o trabalho reforça que a tecnologia, quando aliada a metodologias ativas, pode transformar o ensino técnico em uma experiência engajadora, preparando futuros engenheiros não apenas para calcular, mas para pensar, inovar e aplicar soluções de forma estratégica e contextualizada.



REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.
- CARVALHO, A. C. B. D. de; PORTO, A. J. V.; BELHOT, R. V. Aprendizagem significativa no ensino de engenharia. **Production**, v. 11, p. 81-90, 2001.
- DE ALMEIDA, M. C. F. **Estruturas isostáticas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- DE CAMARGO RIBEIRO, L. R. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008.
- DE OLIVEIRA, C. J. *et al.* Aplicação do software Excel como ferramenta de ensino para resolução de treliças planas utilizando elementos finitos de barras. **Revista Tecnologia**, v. 40, n. 2, 2019.
- HIBBELER, R. C. **Análise das estruturas**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- JUNIOR, F. H. M. M.; DE OLIVEIRA, D. M. Otimização de vigas de concreto armado com seção retangular submetidas à flexão normal simples. **Construindo**, 2014.
- LI, X. *et al.* Exploration of the course construction of "Concrete Structure" based on the teaching mode of project teaching method. **International Journal of Educational Teaching and Research**, v. 1, n. 1, 2024.
- MARTHA, L. F. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2022.
- MENDONÇA, J. *et al.* A linear regression and correlation excel task with engineering students. In: **EDULEARN17 PROCEEDINGS**, 2017, Barcelona. Proceedings [...]. Barcelona: IATED, 2017. p. 3322-3329.
- MEZHENNAYA, N. M.; PUGACHEV, O. V. On perception of computer algebra systems and Microsoft Excel by engineering students. **Problems of Education in the 21st Century**, v. 77, n. 3, p. 379, 2019.
- NIAZKAR, M.; AFZALI, S. H. Streamline performance of Excel in stepwise implementation of numerical solutions. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 24, n. 4, p. 555-566, 2016.
- SANA, A. Teaching fundamental concepts of coastal engineering using excel spreadsheet. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 25, n. 2, p. 304-310, 2017.
- SOUSA, A. T. *et al.* Estudo da linha elástica através de planilhas do Excel. **Anais... Conferência Internacional Sobre Informática Na Educação – TISE**, 26., 2023, Natal. Actas del Congreso Internacional de Informática Educativa, v. 17, p. 512-517. Natal: [s.n.], 2023.
- SUSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural**. Rio de Janeiro: Globo, 1987.
- WOODBURY, K. A. *et al.* Vertical integration of Excel in the thermal mechanical engineering curriculum. **Proceedings... ASME International Mechanical Engineering Congress And Exposition**, p. 317-325, 2008. [S.I.]: ASME, 2008.