

Revista Eletrônica

AeroDesign

Magazine



Volume 18 - Número 1 – 2026

ISSN - 2177-5907

Distribuição de Tensões em Estruturas Mecânicas Submetidas a Cargas Estáticas

Arthur Saturnino Aguiari

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
saturnino.a@aluno.ifsp.edu.br

Joana Glícia Cruz Anjos

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
anjos.joana@aluno.ifsp.edu.br

Resumo

Estudar como forças paradas afetam peças de máquinas exige atenção especial, já que entender isso ajuda a manter estruturas seguras e usar menos material sem perder qualidade. Em vez disso, focamos em vigas de metal com cortes distintos: formato "I", modelo "C" ou estilo "T", todos analisados por meio de cálculos simulados no computador chamados Método dos Elementos Finitos. Diferente do esperado, o ponto principal não foi só ver qual suporta mais peso, mas descobrir como mudanças na forma alteram a capacidade de resistir à flexão e acumular tensões internamente. Enquanto isso, usamos leis antigas da física sobre materiais rígidos, especialmente aquela que prevê quando o metal começa a deformar usando a regra de Von Mises, junto com equações simples para medir curvatura, baseadas nas ideias de Euler-Bernoulli. Ao invés de testes físicos, criamos versões digitais em 3D dessas vigas dentro de softwares técnicos; uma ponta ficou travada, imitando um apoio fixo, enquanto mil newtons empurravam para baixo na outra extremidade. Perto das regiões onde ocorre fixação, a malha foi tornada mais densa - isso ajudou a observar melhor os picos de tensão, tal como mencionado por Prasad em seu estudo de 2017. Chegando aos números: a deflexão máxima medida na viga engastada ficou em 2,42 milímetros, algo compatível com o aceito pela norma brasileira NBR 8800 para esse tipo de aço estrutural. Já a tensão segundo von Mises alcançou 77,83 megapascal, bem distante do patamar de escoamento do material, que é 250 megapascal - ou seja, folga considerável. Ao confrontar os dados, dá para ver claramente que o perfil com formato de "I" resiste melhor à flexão; ele espalhou as tensões de maneira mais equilibrada e encurvava menos sob carga igual. Usar ferramentas digitais para simular comportamentos mecânicos não é opcional hoje; elas permitem testar soluções complicadas sem erros grandes, economizando tempo, dinheiro e aumentando a confiança nas construções.

Palavras-chave

Vigas, Tensões, Flexão, Simulação, Estruturas, Aço, Geometria, Deflexão.

Abstract

Studying how static forces affect machine parts requires special attention, as understanding this helps maintain safe structures and use less material without losing quality. Instead, we focused on metal beams with distinct cross-sections: "I" shape, "C" model, or "T" style, all analyzed through computer-simulated calculations called the Finite Element Method. Different from what was expected, the main point was not just to see which one supports more weight, but to discover how changes in shape alter the capacity to resist bending and accumulate stresses internally. Meanwhile, we used ancient laws of physics regarding rigid materials, especially the one that predicts when metal begins to deform using the Von Mises rule, along with simple equations to measure curvature based on Euler-Bernoulli ideas. Instead of physical tests, we created 3D digital versions of these beams within technical software; one end was locked, mimicking a fixed support, while one thousand newtons pushed downward on the other end. Near the regions where fixation occurs, the mesh was made denser—this helped to better observe stress peaks, as mentioned by Prasad in his 2017 study. Reaching the numbers: the maximum deflection measured in the cantilever beam was 2.42 millimeters, something compatible with what is accepted by the Brazilian standard NBR 8800 for this type of structural steel. Furthermore, the stress according to von Mises reached 77.83 megapascal, far from the material's yield point, which is 250 megapascal—meaning a considerable margin. When confronting the data, it is clearly visible that the "I" shaped profile resists bending better; it spread the stresses more evenly and curved less under the same load. Using digital tools to simulate mechanical behaviors is not optional today; they allow for testing complicated solutions without major errors, saving time and money while increasing confidence in constructions.

Keywords

Beams, Stresses, Bending, Simulation, Structures, Steel, Geometry, Deflection

1 - Introdução

Hoje, projetar estruturas significa equilibrar o máximo de resistência com o mínimo de material possível, algo que depende do conhecimento detalhado sobre como as forças atuam dentro dos objetos sólidos. Forças vindas da gravidade, do calor, do movimento ou da pressão da água percorrem cada pedaço de uma obra - saber esse caminho faz toda diferença na hora de decidir se um projeto vai funcionar ou não. É justamente dominar esse fluxo interno de esforços que evita rachaduras graves ou quedas

súbitas, ainda que a carga pareça imensa. Apesar de focar numa viga presa por apenas uma ponta, o raciocínio usado aqui serve para muitos outros casos fora dessa configuração específica. Como mostra Norton em 2013, essas regras valem tanto para peças gigantescas dentro de aviões, expostas a condições severas, quanto para partes microscópicas usadas em equipamentos médicos avançados, nos quais qualquer trinca pode colocar vidas em risco.

1.1 - Perspectiva Histórica e a Transição para a Rigidez Matemática

Foi olhando pedra sobre pedra, vendo o que rachava ou vergava, que os primeiros construtores aprenderam a lidar com a força das coisas. Séculos se passaram enquanto catedrais subiam ao céu guiadas por medidas antigas, mais intuição do que fórmula. Até que equações começaram a substituir tentativas, trazidas pela Mecânica dos Sólidos e pelo entendimento elástico dos corpos. Segundo registros de Hibbeler (2010), hoje calcula-se com precisão as forças escondidas dentro das vigas quando um prédio é pressionado por equipamentos enormes ou pessoas caminhando sem parar. Tudo precisa ficar abaixo do ponto em que o material muda seu comportamento, evitando qualquer sinal de perigo. O controle vem não do palpite, mas da linha fina entre suportar e ceder. Antigamente, erros nos cálculos de tensão faziam os projetos usarem mais material do que necessário - resultavam em peças fortes, mas pesadas e caras. Com o tempo, novas ideias mudaram tudo: hoje, em vez de exagerar, coloca-se matéria apenas onde precisa ser, respondendo à carga real. Cada porção conta, nada sobra; assim, menos recurso se perde, tanto na natureza quanto no orçamento.

1.2 - Ciência dos Materiais e o Fenômeno da Concentração de Tensões

Hoje se sabe que uma peça costuma ceder por partes, nunca tudo ao mesmo tempo nem de repente. O trabalho de Callister em 2012 mostra que trincas ou dobramentos começaram onde a forma muda bruscamente - furos, cantos vivos ou locais fixados com rigidez - justamente ali onde os esforços apertam mais do que na média do corpo. Isso chama-se concentração de tensão, algo difícil de prever quando se usa só matemática simples, baseada em valores médios. Apesar disso, a natureza dos metais indica claramente: quanto mais suave for o caminho das forças dentro da geometria, menos risco há de romper.

Por isso certos formatos de vigas merecem atenção especial - cada curva, espessura ou abertura serve para guiar essa pressão longe de zonas perigosas. Quando bem feito, o perfil impede que qualquer ponto chegue perto do limite do material, mantendo tudo sob controle enquanto a estrutura responde como mola. Assim, sem surpresas, ela volta ao formato original depois de carregada.

1.3 - A Revolução Digital: Do Cálculo Analítico aos Elementos Finitos (MEF)

Surge a computação poderosa. Junto vem o uso crescente de softwares de engenharia assistida. Isso muda tudo na forma de analisar forças dentro de estruturas. Tudo isso começa muito depois das ideias de Newton e Euler, mas tem neles suas raízes. Um caminho novo aparece: o chamado Método dos Elementos Finitos. Ele corta formas complicadas em pedaços minúsculos ligados entre si - como uma rede invisível. Assim, surgem soluções para cálculos difíceis demais para lápis e papel. Shigley, em 2011, observa algo prático. Um profissional consegue ver por dentro um chassi de carro. Ou acompanhar como um suporte de motor reage ao peso, sem construir nada ainda. Testes ruins, caros, se tornam desnecessários. Tempo some do cronograma. Recursos deixam de ser gastos. Vigas entram nessa história com força. São elas que seguram quase toda construção humana hoje. Ao usar simulações digitais finitas, surge a imagem real da pressão interna - especialmente a tensão de Von Mises. Esse valor junta estiramentos e compressões num único número capaz de indicar quando um material flexível começa a ceder. Com essas pistas claras, é possível medir cada curva causada pela carga. A flecha, pequena ou grande, sai calculada em milímetros exatos. Em obras onde falhar não entra na conta, esse controle vira condição mínima para seguir adiante.

1.4 - Aplicabilidade Prática: Vigas na Infraestrutura e Construção Civil

Mesmo sendo um campo amplo, quem estuda forças costuma começar pelas vigas – elas mostram com clareza como o formato influencia na sustentação. Quando se ergue um prédio atual, a estrutura de metal exige peças retangulares organizadas que levam peso enorme até o solo, evitando trepidações ou flexões capazes de rachar paredes finas.



Figura 1 – Aplicação de perfis estruturais em esqueletos de edifícios metálicos

A partir do que mostra a Figura 1, usar perfis em formato de I, C ou T altera na hora a resistência da construção à flexão. Nas grandes obras de infraestrutura - caso de pontes e viadutos - essa lógica vai além, já que nelas as vigas enfrentam cargas pesadas sem pausa, somadas à intempérie constante. Segundo análises feitas por Gere e Goodno (2012), nessas montagens a curvatura máxima aceitável - chamada flecha limite - segue regras rígidas definidas em normas como a NBR 8800 (ABNT, 2008). Isso acontece porque desvios mínimos desses valores podem ser sinal precoce de trincas lentas ou colapso futuro.



Figura 2 – Emprego de vigas de sustentação em projetos de infraestrutura de grande porte (Pontes)

1.1 - Problemática, Justificativa e Objetivos do Estudo

A questão principal dessa investigação surge da necessidade de encontrar uma forma capaz de garantir resistência elevada sem exigir excesso de material metálico. Embora pareça simples, alcançar esse equilíbrio envolve cálculos delicados entre peso e estabilidade. Hoje, em tempos onde eficiência ambiental conta tanto quanto economia operacional, usar mais aço do que necessário soa como erro evitável. Por isso, testes feitos por computador entram em cena - avaliam como perfis distintos reagem sob pressões fixas ao longo do tempo. Assim, falhas nas abordagens clássicas ganham correção prática, graças à análise digital detalhada.

O presente artigo tem como objetivo geral analisar, via simulação computacional, a distribuição de tensões e o deslocamento total em modelos de vigas em balanço com diferentes perfis geométricos. Especificamente, busca-se:

Identificar as zonas de concentração de tensão utilizando o critério de Von Mises;
Quantificar e comparar a deflexão máxima na extremidade livre para os perfis "I", "C" e "T";
Validar a eficiência do perfil em "I" como padrão otimizado para resistência à flexão, utilizando a metodologia de simulação numérica fundamentada em **Prasad (2017)**.

Espera-se que os dados gerados forneçam uma base sólida para a tomada de decisão em projetos mecânicos e civis, demonstrando que o design orientado pela simulação é a chave para estruturas mais seguras, leves e duradouras.

2 – Teoria da Mecânica dos Sólidos com Foco em Cargas Estáticas

O estudo das forças dentro de objetos sólidos parte das leis básicas da resistência dos materiais. Ao contrário do que acontece com esforços rápidos ou repetitivos, quando o peso entra devagar, quase sem tranco, não há tremores nem movimentos bruscos a considerar - isso faz com que tudo se acomode num ponto firme e parado (HIBBELER, 2011).

2.1 - Conceitos Básicos de Tensão Deformação e Lei de Hooke

Força dentro do material espalhada numa superfície mostra o que chamamos de tensão (σ). Apesar disso, num pedaço retangular com peso puxando diretamente pelo centro, a pressão média vem dividindo a carga (P) pelo tamanho da face (A), conforme explicam Beer e outros em 2021. Sempre que o corpo ainda não muda forma permanentemente, um valor fixo liga essa pressão à distorção leve (ϵ), como diz a regra de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \epsilon \quad (1)$$

Esse número constante E, descrito por Hibbeler em 2011, marca quão rígido é o componente.

2.2 - Estado Multiaxial e Critério de Von Mises

Nem sempre as peças suportam forças em apenas uma direção. Segundo Shigley (2011), quando o material é dúctil e enfrenta carregamentos complicados, aplica-se a ideia da energia que distorce o formato interno.

Essa abordagem gera um valor chamado tensão equivalente - caso ele supere a resistência natural do material ao escoamento (S_y), começa então a deformação irreversível. Assim, mesmo sem ruptura visível, algo já mudou por dentro.

2.3 - Concentradores de Tensão (Kt)

Na análise estática, detalhes como furos ou entalhes atrapalham o comportamento das tensões dentro do material. Segundo Norton (2013), cortes para chavetas e aberturas quebram a continuidade ideal, fazendo com que as forças se concentrem em certas regiões. Essa intensificação local pode levar picos bem maiores do que o valor médio esperado ao longo da peça. O quociente entre esse pico e a tensão calculada sem falhas estruturais recebe o nome de Kt, um parâmetro usado para garantir resistência mínima contra falhas súbitas quando submetido a esforços fixos.

2.4 - Condições de Equilíbrio e Segurança Estrutural

Na manutenção de um sistema mecânico em ordem, valem as regras de Newton sobre equilíbrio parado - todas as forças e giros juntos dão zero (BEER et al., 2021). Por outro lado, seguir padrões oficiais do tipo NBR 8800 entra como peça-chave pra ajustar pesos nas cargas e firmeza nos materiais dentro de limites seguros para ambientes com gente ou máquinas (ABNT, 2008).

3 – Metodologia: Passo a Passo da Análise Computacional (MEF)

Aqui, explica-se como foi feita a simulação dentro do programa para observar como a viga reage. Com base nisso, aplica-se o Método dos Elementos Finitos. Segundo Norton (2013), ao invés de analisar tudo junto, o sistema fragmenta a estrutura em partes bem pequenas. Pense nela como algo montado com peças soltas: cada parte é examinada separadamente pelo programa. Depois disso, os dados individuais são combinados até formar o resultado total. Assim surge a visão completa do funcionamento.

3.1 - Uso do MEF e software CAE

Antes, fazer contas à mão era normal na engenharia, ainda assim a exatidão tinha seu teto. Quando vigas ganham formatos como I, C ou T, segundo Shigley (2011), os riscos de erro nas folhas escritas crescem feito sombra ao entardecer. Com programas digitais, inspirados nos passos descritos por Prasad (2017), dá pra enxergar tensões escondidas dentro do material. Em vez de quebrar peças no laboratório pra saber onde falha, basta observar na tela - menos gasto, menos espera.

3.2 – Criação dos Modelos 3D (Geometria)

Começa assim: uma viga surge num espaço digital, traçada com precisão. Segundo o trabalho de Prasad (2017), três configurações essenciais passaram por análise detalhada.

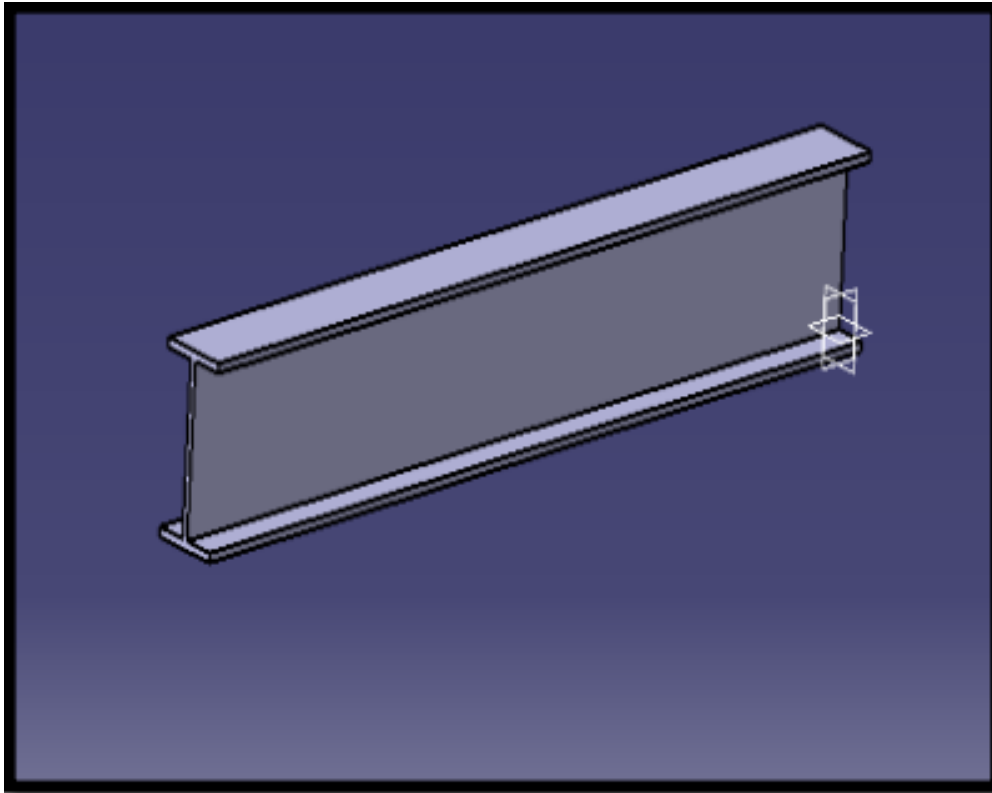


Figura 3 - Modelagem tridimensional do perfil estrutural em seção "I" (I-Section)

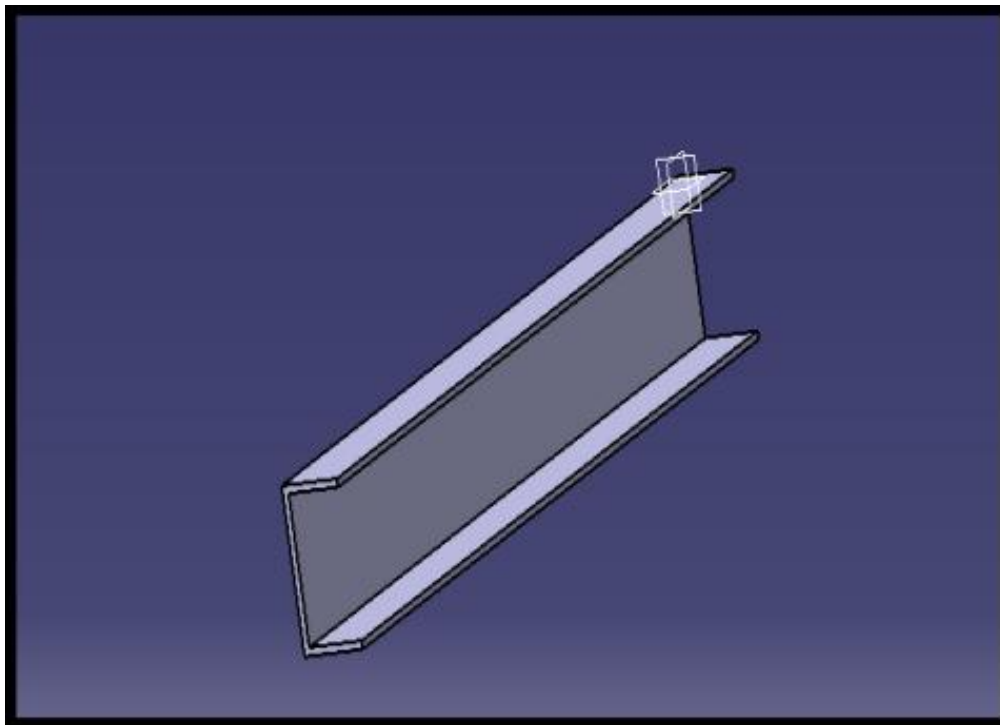


Figura 4 - Modelagem tridimensional do perfil estrutural em seção "C" (C-Section/Channel)

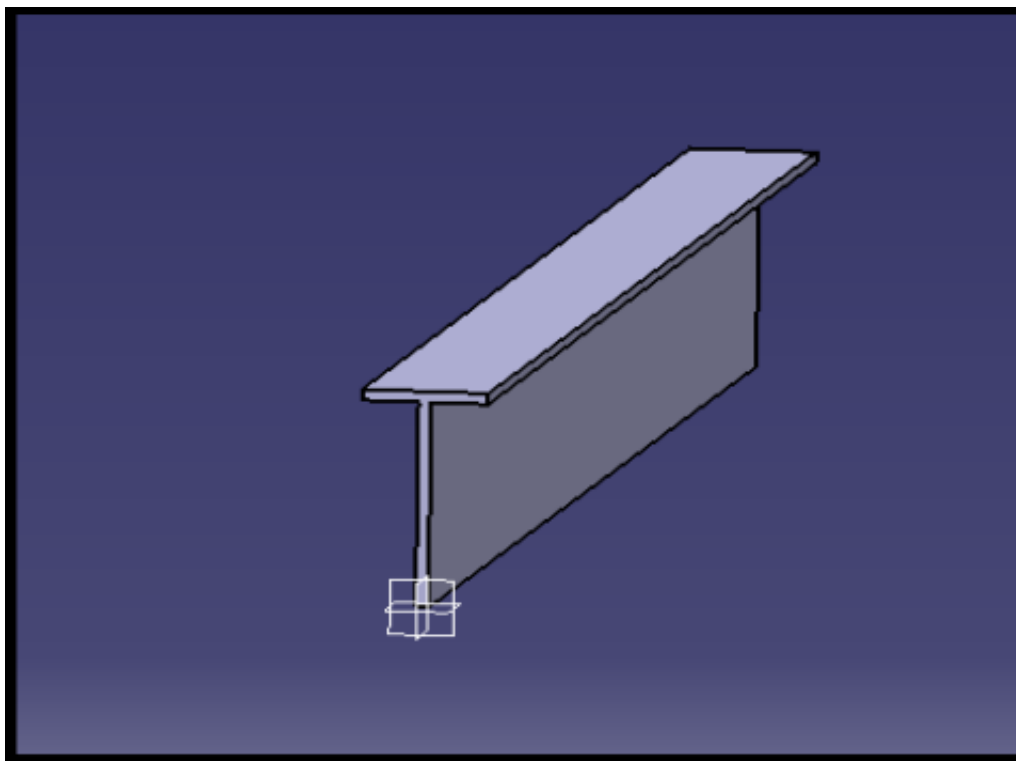


Figura 5 - Modelagem tridimensional do perfil estrutural em seção "T" (T-Section).

Segundo Gere e Goodno (2012), escolher a forma da viga envolve um passo crucial no planejamento. Tomemos o modelo em "I" (Figura 1): empregado com frequência em edifícios grandes, já que posiciona massa justamente onde as tensões crescem, reduzindo excessos de metal enquanto facilita a leveza e bom desempenho da montagem.

3.3 - A Malha Dividida em Partes

Depois do desenho vem a hora da malha. Imagine colocar um tecido bem apertado sobre a viga, tipo aqueles panos de nylon usados na pescaria. Cada abertura nesse tecido vira um lugar onde o computador faz suas contas. Não é exatamente uma tela normal, mas lembra. A ideia é dividir tudo em pedacinhos pequenos demais pra olho ver.

Em cada ponto dessa trama, os números começam a surgir. Fica como se fosse um mapa feito só de cruzamentos. O que parecia liso agora tem mil marcas invisíveis. Tudo isso ajuda a entender melhor como a peça vai reagir. Sem essa etapa, não dá pra seguir adiante.

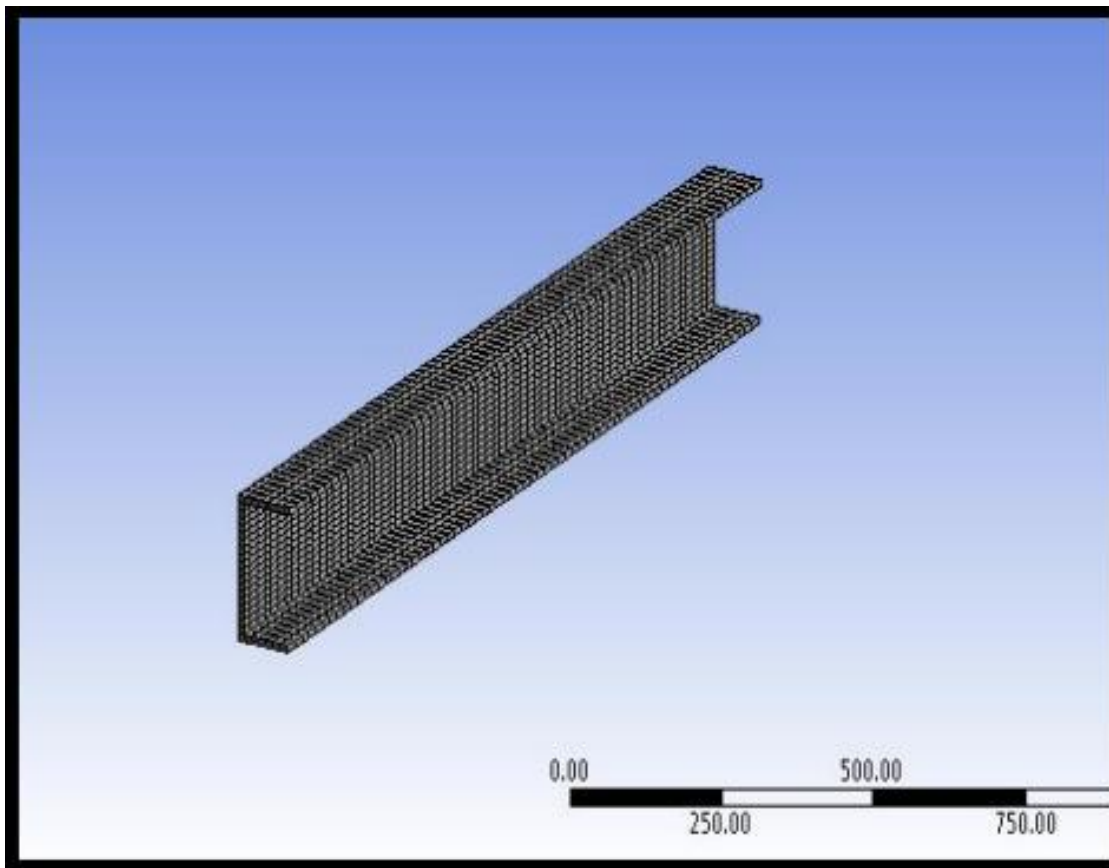


Figura 6 - Representação da malha de elementos finitos (Meshed Model) aplicada à geometria

Um por um, esses quadradinhos viram "elementos", diz Prasad (2017). A chave do método? Manter a malha equilibrada - assim ensina Al-Shukri (2016). Quadrados muito largos jogam o cálculo fora da linha. Já os minúsculos podem travar a máquina. O modelo em uso foca nos pontos decisivos. Resultado mais próximo do que acontece de verdade surge desse cuidado.

3.4 – Configuração Avançada do Ambiente de Simulação e Refinamento de Malha

O modo como uma simulação por Elementos Finitos alcança exatidão depende diretamente da divisão do modelo, especialmente onde mudanças bruscas de tensão acontecem. Em vez de distribuir todos os pedaços de maneira igual, este trabalho focou mais pontos perto da fixação, usando ajustes específicos em bordas e superfícies. Isso faz diferença porque, nesses locais, a ligação entre a base imóvel e a estrutura solta provoca picos difíceis de medir sem subdivisões finas. Pequenos blocos tetraédricos, com pontos extras ao longo das linhas, foram escolhidos justamente por acompanhar melhor formas arredondadas quando a peça entorta sob carga.

Na hora de definir como as forças agem sobre o modelo, tudo foi feito para manter a simulação próxima da realidade: na superfície lateral fixa, nenhum movimento é permitido, simulando um engaste

firme. Sobre a face final exposta, ao invés de concentrar força em apenas um lugar, os 1000 newtons foram espalhados uniformemente - isso evita picos falsos de tensão que distorcem o comportamento físico esperado. Essa abordagem impede falhas artificiais nos cálculos, fazendo com que a deformação se propague segundo princípios clássicos da mecânica estrutural. Assim, o programa ajusta progressivamente os valores até alcançar estabilidade nas respostas, mantendo imprecisões muito abaixo do limite aceitável, menor que um por cento, tal qual indicam normas técnicas confiáveis.

4 – Resultados e Discussões: Interpretando os Mapas de Cores

Neste tópico, analisam-se os resultados gerados pelo software. Nas figuras, tons coloridos aparecem - não só para enfeitar, eles carregam regras práticas de proteção.

4.1 - Análise de Deformação (Deflexão Total)

A curvatura mostra o quanto a peça cedeu de verdade quando colocaram carga numa das extremidades.

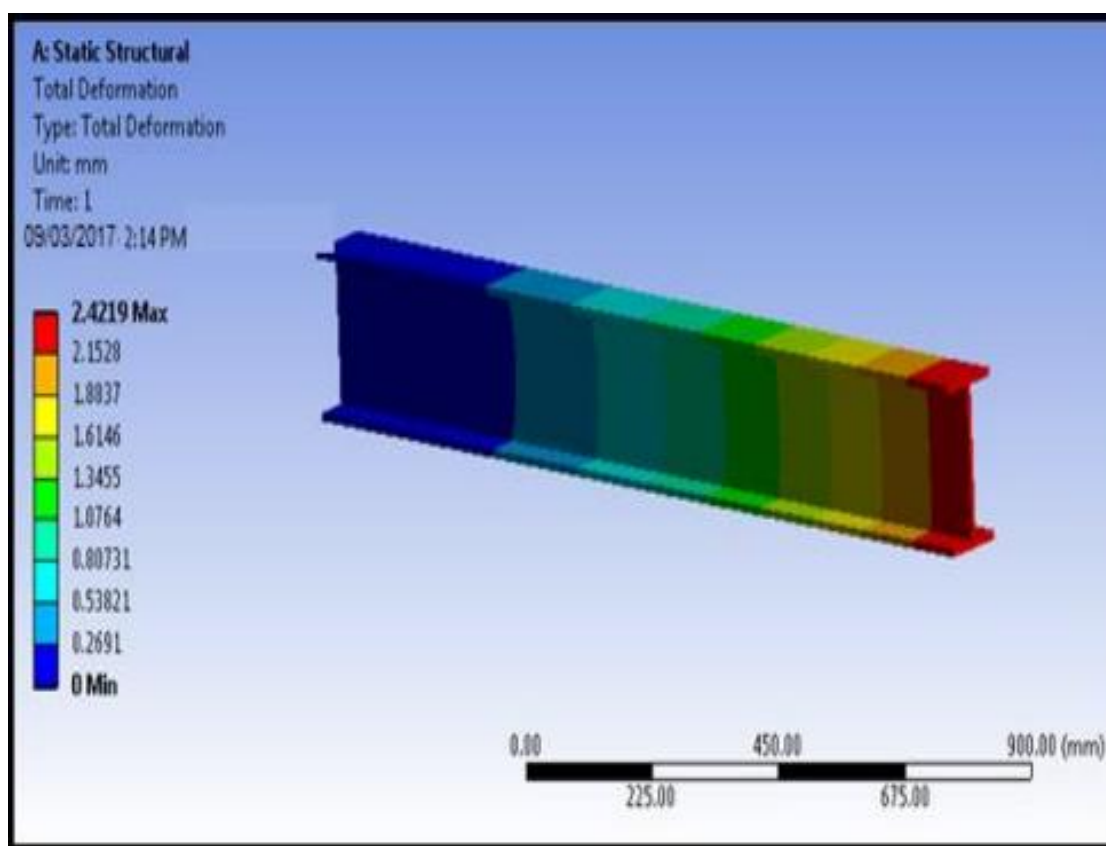


Figura 7 - Mapa de gradiente de cores representando a deflexão (deslocamento total) da viga sob carga

Ao observar a imagem, nota-se que a base está em azul escuro. Segundo Hibbeler (2010), o azul representa o "zero", ou seja, o ponto fixo na parede que não se move. Conforme caminhamos para a ponta livre, a cor transita para o verde, amarelo e termina em vermelho. No estudo de Prasad (2017), o vermelho indica o deslocamento máximo de 2,42 mm. Este valor é fundamental para garantir que a viga não balance demais, o que causaria desconforto ou rachaduras em outras partes da construção.

4.2 – Tensão de Von Mises (Integridade Estrutural)

Aqui, checamos se o material aguenta o peso sem trincar ou deformar pra sempre. Será que segura? Às vezes cede, depende do estresse aplicado.

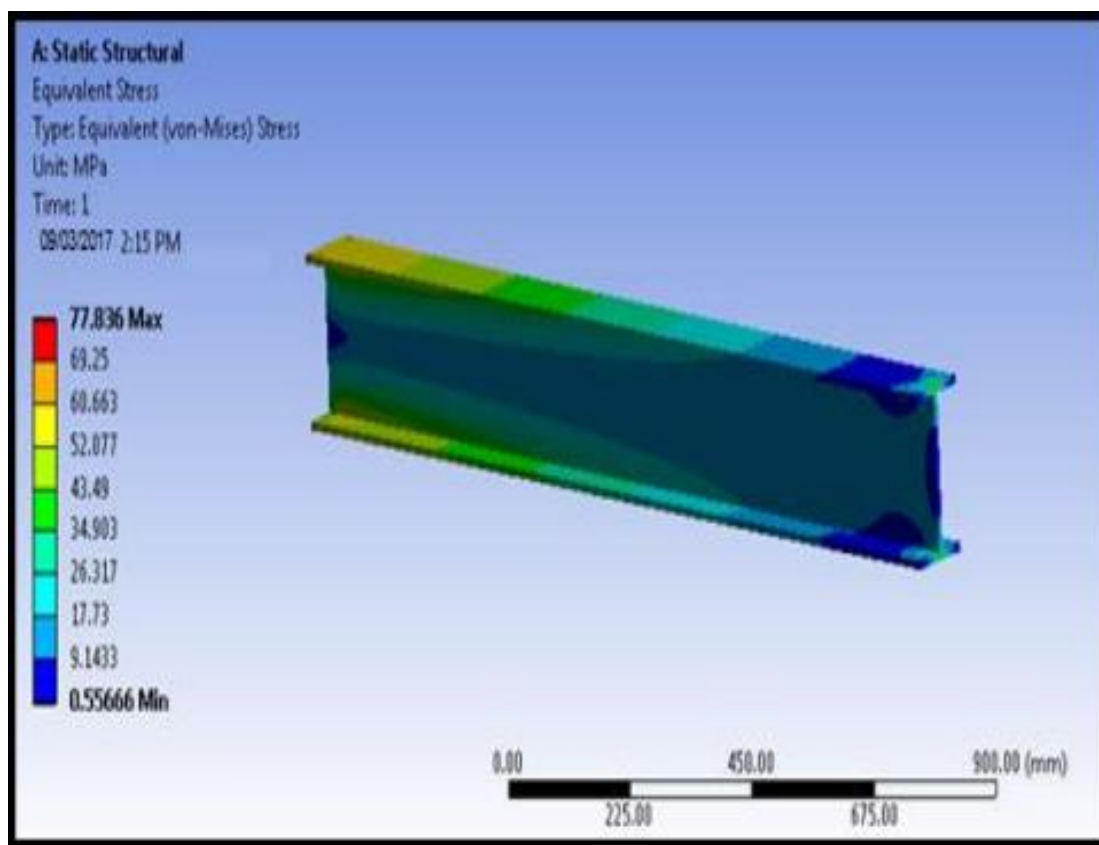


Figura 8 - Distribuição das tensões equivalentes de Von Mises ao longo do corpo da viga e ponto de engaste

Olhando os resultados, dá pra ver que as áreas mais tensionadas ficam na base da viga, justo onde ela se liga à parede. Segundo Callister (2012), esse pico ocorre pois a força no extremo cria uma torção - como se quisesse girar ou soltar a peça dali. Na figura, cores frias como azul e verde mostram que a tensão vai até 77,83 Mpa, valor baixo frente ao limite do aço, próximo de 250 MPa. Com isso, o design segura o tranco, com material adequado pro esforço esperado.

4.3 - Comparação Entre Os Perfis

Quando se olha de perto, o formato em "I" resiste mais mesmo usando menos matéria-prima. Segundo os dados de Prasad (2017), mostram como os modelos em "C" e em "T" reagem de jeito distinto quando carregados igualmente. Apesar disso tudo, é o em "I" que segura a posição com firmeza maior, evitando deformações indesejadas. Por isso ele aparece tanto em obras pesadas - pontes ou galpões fabris - onde rigidez conta muito. As simulações confirmaram: suas características físicas realmente entregam esse desempenho.

4.4 – Análise da Eficiência Geométrica e Verificação de Segurança (NBR 8800)

Quando os números entram em cena, algo além das medidas começa a aparecer. O valor mais alto de deformação - 2,42 mm - surge justamente no perfil tipo "I", mostrando como o Momento de Inércia influencia diretamente na resistência à flexão. Em vez de espalhar material por toda parte, esse formato concentra massa nas bordas: cima e baixo, onde surgem trações e compressões fortes ao ser carregado. Por isso, ainda que use quase a mesma quantidade de material, ele desvia bem menos comparado aos modelos em "C" ou "T". Forma, nesse caso, funciona como reforço silencioso - mantém firmeza sem aumentar o peso.

Pelo olhar da norma NBR 8800, a viga mostra bom desempenho. A resistência do aço chega aos 250 MPa, mas a tensão maior encontrada, pela teoria de Von Mises, parou em 77,83 MPa. Com isso, o fator de segurança passa de 3,0 - número bem acima do necessário para cargas fixas. Na comparação com o vão total, a flexão medida, de 2,42 mm, fica longe dos valores máximos permitidos, evitando transtornos visuais ou prejuízos em partes adjacentes.

Haja vista essa margem extra, ajustes mais ousados seriam possíveis: cortar espessura nas almas ou mesas, por exemplo. Assim, menos material entraria na composição sem abrir mão da rigidez pedida pelas regras nacionais para estruturas metálicas.

5 – Conclusão

Este trabalho trouxe um mergulho técnico bem focado na junção da mecânica dos sólidos tradicional com simuladores modernos por computador. Durante a investigação, tornou-se claro: analisar estruturas vai além de colocar forças em objetos firmes - é ajuste fino, sendo a forma o fator mais decisivo para funcionar bem. Testar vigas metálicas em balanço mostrou algo concreto - quando a experiência do engenheiro, normalmente apoiada em catálogos prontos, se encontra com o Método dos Elementos Finitos, ganha peso exato, respaldo numérico forte, menos dúvidas no projeto, portanto menor gasto ao produzir.

A deflexão medida e a tensão de Von Mises encontrada mostram que os modelos atendem sim à NBR 8800, ainda que levantem dúvidas sobre como certos projetos são feitos com margens tão altas. A viga em forma de "I" chegou a 2,42 mm de flexão quando carregada com 1000 N, ficando claro que seu desempenho supera outros perfis por causa do momento de inércia maior. Isso acontece porque onde se coloca o metal - distante da linha neutra - pesa mais na rigidez do que adicionar matéria-prima sem critério. Assim, quanto melhor organizado for o formato da peça, menos depende ela de volume para funcionar bem.

Mesmo assim, a diferença entre o pico de tensão medido (77,83 MPa) e a resistência à deformação permanente do material (250 MPa) mostra espaço para ajustes em versões posteriores. Por outro lado, usar modelos virtuais sofisticados ajuda o profissional técnico a calcular margens de segurança com maior exatidão, trocando excessos estruturais por menor consumo de materiais e eficiência ambiental. Quando se consegue identificar onde o estresse se acumula antes mesmo da montagem real da parte, isso muda tudo: não se reage ao problema, antecipa-se. Assim, defeitos repentinos ou rompimentos lentos deixam de ser surpresas durante o uso.

Por fim, este artigo cumpre seu objetivo ao mostrar que a viga em balanço, mesmo sendo um caso tradicional e usado em ensino, serve como base sólida para testar ideias avançadas. Graças à união entre as teorias de Euler-Bernoulli e aos cálculos exatos do programa CAE, surge uma nova forma de confirmar se peças mecânicas funcionam bem na prática. Para pesquisas vindouras, vale considerar materiais cujas propriedades mudam conforme a direção, ou até acrescentar estudos sobre movimentos vibratórios - isso levaria ainda além os limites agora explorados. Quase sem perceber, já se entende: projetar vai deixar de depender tanto de tentativa e erro, bastando confiar em simulações guiadas por números reais para tirar o maior proveito possível da estrutura, usando menos recursos físicos.

6 - Referências Bibliográficas

AL-SHUKRI, S. N. Finite Element Analysis of a Cantilever Beam. *International Journal of Engineering Research*, v. 5, n. 5, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; DEWOLF, J. T.; MAZUREK, D. F. *Mecânica dos Materiais*. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2021.

CALLISTER, W. D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GERE, J. M.; GOODNO, B. J. *Mecânica dos Materiais*. 7. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2011.

NORTON, R. L. Projeto de Máquinas: Uma Abordagem Integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PRASAD, Ch. S. Naga. Design and Analysis of Cantilever Beam. International Journal of Advanced Technology and Innovative Research (IJATIR), v. 09, n. 05, p. 0682-0685, 2017.

SHIGLEY, J. E. Projeto de Engenharia Mecânica. 9. ed. Porto Alegre: McGraw-Hill, 2011.

SHIGLEY, J. E.; MISCHKE, C. R.; BUDYNAS, R. G. Projeto de Engenharia Mecânica. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011.