

## ANÁLISE NUMÉRICA DE TENSÕES E DEFLEXÕES EM UMA VIGA METÁLICA COM APLICAÇÃO DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

Vithalion de Oliveira Ocampos – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

[vitalion101@gmail.com](mailto:vitalion101@gmail.com)

Pedro Henrique Justo dos Santos – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

[pedro.justo032@gmail.com](mailto:pedro.justo032@gmail.com)

André Felipe Aparecido de Mello – Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD)

[andremello@ufgd.edu.br](mailto:andremello@ufgd.edu.br)

### RESUMO

A construção civil busca soluções que unam segurança, economia e eficiência. Nesse contexto, as vigas metálicas de perfil W se destacam pela elevada resistência com menor consumo de aço, sendo amplamente utilizadas em edifícios, passarelas e coberturas. Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento de uma viga metálica biapoiada, perfil W410x46,1, submetida a uma carga distribuída uniforme. Para isso, utilizou-se o Método dos Elementos Finitos (MEF) no software livre Salome-Meca 9.10.0, comparando os resultados obtidos na simulação com os cálculos clássicos da Resistência dos Materiais. O estudo foi dividido em quatro etapas: modelagem geométrica da viga com dimensões reais de catálogo, geração da malha tridimensional, definição das propriedades do aço e das condições de apoio, e aplicação da carga. A simulação foi realizada no módulo AsterStudy, com visualização no Paravis. Paralelamente, foram efetuados cálculos manuais de flecha máxima, momento fletor, força cortante e tensão normal, que serviram como referência para a validação dos resultados numéricos. Os resultados mostraram forte concordância entre teoria e simulação. A flecha máxima analítica foi de 14,4 mm, enquanto a numérica foi de 15 mm. Para a tensão normal, o cálculo manual indicou 155 MPa e o software 160 MPa. Em ambos os casos, a diferença foi inferior a 5%. Conclui-se que o modelo numérico representou adequadamente o comportamento real da viga e que a integração entre cálculos clássicos e simulação amplia a compreensão estrutural, fortalecendo a formação acadêmica e profissional.

**Palavras-chave:** viga metálica; método dos elementos finitos; análise numérica; deflexão; tensão.

### ABSTRACT

The construction industry increasingly seeks solutions that combine safety, cost-effectiveness, and efficiency. In this context, I-section steel beams stand out for their high strength with lower steel consumption, being widely used in buildings, footbridges, and roofs. This study aimed to analyze the behavior of a simply supported steel beam, profile W410x46.1, subjected to a uniformly distributed load. For this purpose, the Finite Element Method (FEM) was applied using the open-source software Salome-Meca 9.10.0, comparing the simulation results with classical Strength of Materials calculations. The study was structured in four main stages: geometric modeling of the beam with catalog dimensions, generation of the three-dimensional mesh, definition of the steel properties and support conditions, and application of the load. The simulation was carried out in the AsterStudy module, with visualization in Paravis. In parallel, manual calculations of maximum deflection, bending moment, shear force, and normal stress were performed, serving as references for the validation of numerical results. The results showed strong agreement between theory and simulation. The maximum deflection obtained analytically was 14.4 mm, while the numerical result was 15 mm. For normal stress, the manual calculation indicated 155 MPa, whereas the simulation returned 160 MPa. In both cases, the difference was less than 5%. It is concluded that the numerical model adequately represented the real behavior of the beam. The integration of classical calculations and numerical simulation broadens structural understanding and strengthens both academic training and professional practice.

**Keywords:** steel beam; finite element method; numeric analysis; deflection; stress.

## 1. Introdução

A construção civil moderna exige soluções estruturais que aliem resistência, economia e eficiência na execução. Dentre os elementos estruturais mais utilizados em edificações, as vigas metálicas do tipo perfil “I” destacam-se por sua capacidade de suportar grandes cargas com reduzido consumo de material. Seu desempenho é especialmente relevante em situações que exigem grande resistência à flexão e ao esforço cortante, sendo fundamentais em sistemas de cobertura, entrespisos e passarelas metálicas (Santos; Fonseca; Alves, 2020).

A aplicação do Método dos Elementos Finitos (MEF) tem se mostrado uma ferramenta eficaz para prever o comportamento dessas estruturas, permitindo a análise precisa de deformações e tensões antes mesmo da fabricação física. Neste contexto, a plataforma Salome-Meca surge como uma alternativa robusta e gratuita para simulações numéricas em engenharia, integrando ferramentas como a modelagem geométrica, geração de malha, definição de condições de contorno e resolução com o solver Code\_Aster (Salome-Meca, 2025; Code\_Aster, 2025).

Como base metodológica e comparativa, utilizou-se o estudo de Lima (2019), que analisou vigas metálicas e vigas mistas de aço e concreto por meio de simulação computacional no SolidWorks (Dassault Systèmes, 2019). Esse estudo permitiu estabelecer um ponto de partida para avaliação e validação dos resultados obtidos com a ferramenta Salome-Meca (Salome-Meca, 2025), além de reforçar a importância do uso de métodos numéricos para previsão do comportamento estrutural.

De acordo com Fernandes et al. (2022), o uso de métodos numéricos na engenharia estrutural contribui para tornar o processo de projeto mais rápido e econômico, pois diminui a necessidade de ensaios físicos. Para que esses resultados sejam confiáveis, é essencial que a malha utilizada na simulação seja bem definida e que as condições de contorno sejam aplicadas corretamente. Além disso, como destacado por Pimenta (2006), a compreensão do comportamento mecânico de uma estrutura exige que o engenheiro vá além do cálculo, sendo capaz de avaliar criticamente os resultados e sua coerência com os princípios físicos.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento estrutural de uma viga metálica biapoiada utilizando o Método dos Elementos Finitos (MEF) no software Salome-Meca (Salome-Meca, 2025), comparando os deslocamentos e tensões obtidos na simulação com os resultados de cálculos analíticos clássicos da Resistência dos Materiais e com os valores apresentados por Lima (2019).

## 2. Referencial teórico

As vigas biapoiadas são estruturas comuns na engenharia civil por combinarem estabilidade e facilidade de cálculo. Elas contam com dois apoios, podendo ser idealizados como um fixo e outro tipo rolete, e distribuem as cargas ao longo do vão, facilitando o entendimento do comportamento estrutural (Buffoni, 2018).

O perfil W410x46,1, escolhido como base deste estudo, apresenta dimensões (altura de 403 mm; largura da mesa superior de 140 mm) e um valor de momento de inércia de 15.690 cm<sup>4</sup>, o que garante rigidez e resistência adequadas ao esforço de flexão (Gerdau, 2021).

Na teoria da Resistência dos Materiais, os conceitos de deflexão, momento fletor, força cortante e tensão normal por flexão são fundamentais para dimensionar e prever o comportamento da viga sob cargas. Essas fórmulas clássicas, como a expressão da deflexão máxima, também chamada de flecha, numa viga biapoiada, estão consolidadas na literatura nacional (Hibbeler, 2010).

A flecha representa o deslocamento vertical máximo da viga, ou seja, o quanto ela "entorta" sob o peso que recebe. Para uma viga biapoiada com carga uniformemente distribuída, a fórmula clássica da flecha máxima é:

$$\delta_{máx} = \frac{5 q L^4}{384 EI} \quad (1)$$

Em que:

$\delta_{m\acute{a}x}$ : flecha máxima (m);

$q$ : carga distribuída uniformemente ao longo da viga (N/m);

$L$ : comprimento do vão da viga (m);

$E$ : módulo de elasticidade longitudinal do material (Pa);

$I$ : momento de inércia da seção transversal da viga (m<sup>4</sup>).

O momento fletor representa a tendência da viga em girar sob a ação de cargas, ou seja, o esforço interno responsável pela flexão. Para uma viga biapoiada submetida a uma carga distribuída uniformemente, a fórmula clássica para o cálculo do momento fletor máximo é (Fernandes; Battista, 2019):

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{qL^2}{8} \quad (2)$$

Onde:

$M_{m\acute{a}x}$ : momento fletor máximo, em N·m

$q$ : carga distribuída sobre a viga, em N/m

$L$ : comprimento da viga, em metros

A tensão normal por flexão ocorre na fibra mais distante do eixo neutro da viga, geralmente localizada na parte inferior da seção transversal. Esse esforço interno é responsável por gerar tração nas fibras inferiores e compressão nas superiores. A fórmula clássica para o cálculo da tensão normal máxima é:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (3)$$

Onde:

$\sigma$ : tensão normal (em pascal, Pa)

$M$ : momento fletor máximo (N·m)

$c$ : distância do eixo neutro até a fibra extrema da seção (m)

$I$ : momento de inércia (m<sup>4</sup>)

(Hibbeler, 2010).

O Método dos Elementos Finitos (MEF) permite analisar geometrias mais complexas e condições realisticamente variadas. Dividindo a estrutura em elementos e resolvendo as equações por meio de aproximações numéricas, o MEF é atualmente um dos principais métodos utilizados em engenharia estrutural (Neves, 2019).

O uso do software Salome\_Meca, combinado ao solver Code\_Aster, permite realizar análises estruturais completas de forma gratuita e robusta. Ainda que sua interface exija adaptação e a documentação apresente desafios linguísticos, ele é valorizado por sua flexibilidade e nível avançado de controle sobre simulações, sendo já utilizado em pesquisas acadêmicas brasileiras (Rodrigues, 2023).

### 3. Método de pesquisa

Esta seção apresenta as etapas desenvolvidas para a modelagem, simulação e análise da viga metálica biapojada utilizando o software Salome\_Meca 9.10.0, com base nas propriedades geométricas do perfil W410x46,1 e nas cargas descritas no TCC de Saraiva (2019). O objetivo é reproduzir com fidelidade as condições reais da estrutura e extrair resultados que possam ser comparados com os obtidos teoricamente.

#### 3.1. Perfil Estrutural W410x46,1

O perfil adotado neste estudo é o W410x46,1, pertencente à família dos perfis laminados do tipo W (*Wide Flange*). Esses perfis são amplamente utilizados em estruturas metálicas por oferecerem ótima relação entre resistência e peso, além de serem padronizados e disponíveis em catálogos de fabricantes como a Gerdau (Gerdau, 2021).

As propriedades geométricas fundamentais do perfil, apresentadas na Figura 1, foram retiradas da Tabela de Perfis Laminados da Gerdau (GERDAU, 2021) e incluem:

Altura total ( $h$ ): 403 mm

Largura da mesa ( $b_f$ ): 140 mm

Momento de inércia ( $I_x$ ): 15.690 cm<sup>4</sup>

Distância do eixo neutro à borda ( $c$ ):  $h/2 = 201,5$  mm

Área da seção (A): 5920 mm<sup>2</sup>

O momento de inércia  $I_x$ , em especial, é um parâmetro crucial, pois está diretamente relacionado à resistência da viga à flexão. Quanto maior o momento de inércia  $I_x$ , menor será o deslocamento vertical sob uma mesma carga (Santos et al., 2020).

BITOLA mm x kg/m	Massa Linear kg/m	d mm	b <sub>f</sub> mm	ESPESSURA		h mm	d' mm	Área cm <sup>2</sup>	EIXO X - X			EIXO Y - Y			u m/m	Bitola in x lb/ft
				t <sub>w</sub> mm	t <sub>f</sub> mm				I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> cm	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> cm		
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3	12.777	640,5	15,94	404	57,7	2,83	1,32	W 16 x 26
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2	15.690	778,7	16,27	514	73,4	2,95	1,33	W 16 x 31
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4	18.734	929,7	16,55	1.009	114,0	3,84	1,48	W 16 x 36
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2	21.707	1.066,7	16,88	1.205	135,4	3,98	1,49	W 16 x 40
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3	24.678	1.203,8	16,91	1.379	154,1	4,00	1,50	W 16 x 45
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8	27.616	1.337,3	16,98	1.559	173,2	4,03	1,51	W 16 x 50
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6	31.658	1.518,4	17,07	1.804	199,3	4,08	1,52	W 16 x 57

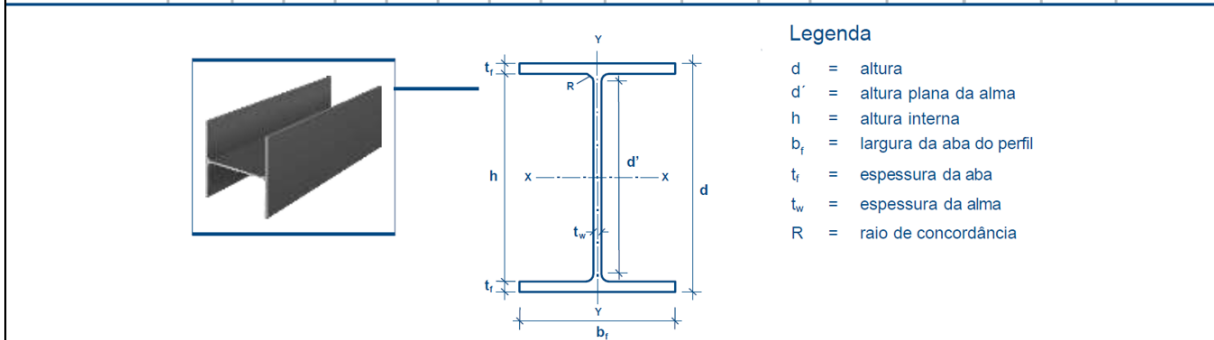


Figura 1 – Perfil estrutural W410x46,1.  
 Fonte: Gerdau (2021).

### 3.1.1. O Modelagem geométrica

A viga foi modelada no ambiente tridimensional no módulo Geometry com base em um paralelepípedo retangular de 6 metros de comprimento (eixo X), 0,14 m de largura (eixo Y, referente à mesa superior do perfil) e 0,403 m de altura (eixo Z), conforme representado na Figura 2.

É importante destacar que todas as grandezas geométricas e físicas foram lançadas no software respeitando o Sistema Internacional de Unidades (SI), ou seja, em metros (m), pascals (Pa), newtons (N), segundos (s) e demais unidades correspondentes, garantindo a padronização necessária para a correta interpretação dos resultados numéricos.

Durante esta etapa, foram criados grupos geométricos, recurso essencial para aplicar condições de contorno e cargas corretamente no AsterStudy. Os grupos definidos foram:

Apoio\_fixo: face do extremo esquerdo da viga ( $x = 0$ ), representando um apoio engastado no plano X, Y e Z;

Apoio\_rolante: face do extremo direito ( $x = 6$  m), com liberdade apenas no eixo X (permitindo deslocamento, por exemplo);

Superfície\_superior: topo da viga, onde seria aplicada a carga distribuída convertida em pressão.

A definição adequada desses grupos é essencial para garantir que a simulação seja consistente, permitindo que o programa identifique corretamente onde aplicar cada restrição e cada carga, evitando erros de interpretação durante o processo (Pimenta, 2006).

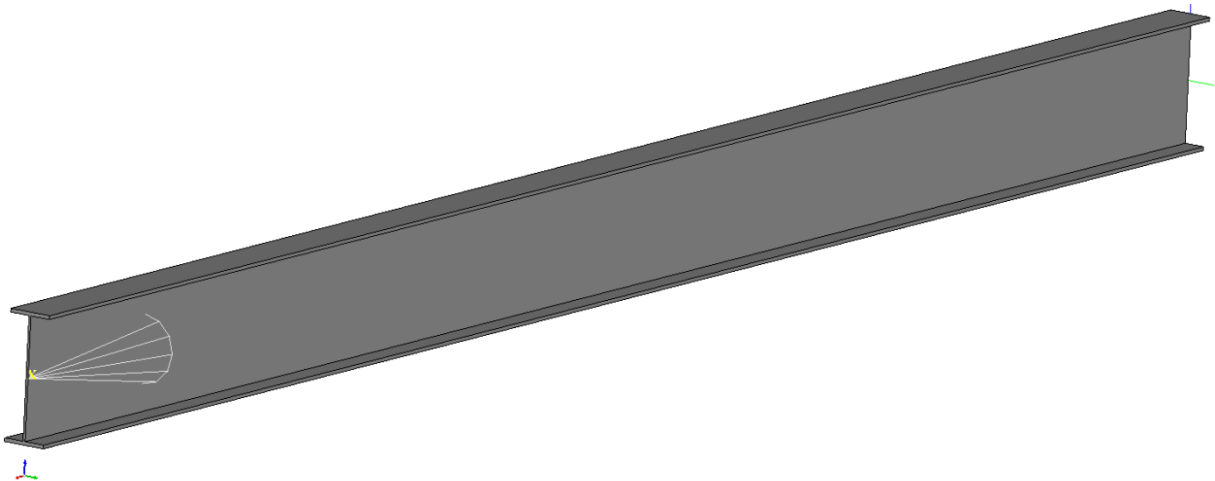


Figura 2 – Representação da geometria da viga modelada no Salome\_Meca 9.10.0.  
Fonte: Elaborado pelo autor no software Salome\_Meca (2025).

### 3.1.2. Geração da malha

Com a geometria definida, a malha foi gerada no módulo *Mesh* utilizando o algoritmo NETGEN 1D-2D-3D, adequado para corpos sólidos de geometria complexa. Foram adotados parâmetros de refinamento controlado, com tamanho mínimo de elemento igual a 0,02 m e tamanho máximo de 0,05 m, o que garantiu boa relação entre precisão e tempo de processamento. O modelo resultou em uma malha composta por 38.367 elementos tetraédricos e 13.399 nós, conforme ilustrado na Figura 3. A qualidade da malha é essencial para a precisão do método dos elementos finitos, visto que malhas mais refinadas aproximam melhor o comportamento real da estrutura, embora aumentem o tempo de simulação (Fernandes; Battista, 2019).

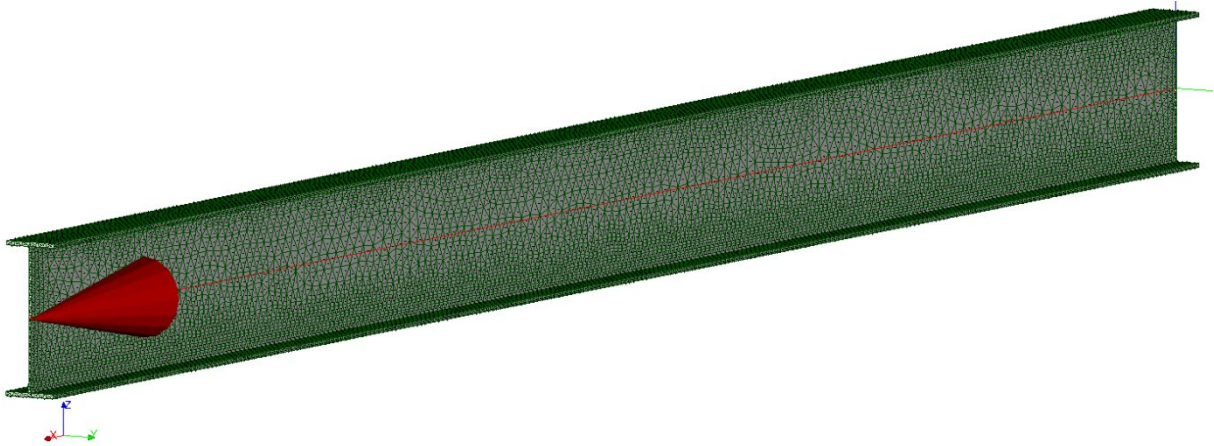


Figura 3 – Geração da malha utilizando NETGEN no módulo Mesh.  
Fonte: Elaborado pelo autor no software Salome\_Meca (2025).

### 3.1.3. Definições físicas e simulação

O módulo *AsterStudy* permite transformar a geometria e malha em um problema físico a ser resolvido numericamente. Para o material, foi utilizado o modelo de elasticidade isotrópica linear, considerando módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e densidade típicos do aço estrutural:

Módulo de Elasticidade:  $E = 200 \times 10^9$  Pa

Coeficiente de Poisson:  $\nu = 0,3$

Densidade (opcional):  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>

Esses parâmetros estão de acordo com catálogos técnicos e com os valores de aços estruturais como ASTM A36 e A572 (Santos et al., 2020).

As condições de contorno foram aplicadas com base nos grupos geométricos criados:

Apoio\_fixo: restrições em X, Y e Z (engastado);

Apoio\_rolante: restrições apenas em Y e Z (apoio tipo rolete);

Observação: isso configura uma viga biapoiada, que tem um grau de liberdade em X no segundo apoio, permitindo pequena movimentação longitudinal.

A carga distribuída  $q = 26,82 \text{ kN/m}$ , conforme o estudo de Saraiva (2019), foi convertida em pressão utilizando:

$$p = \frac{q}{bf} = \frac{26820 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{0,14 \text{ m}} = 191571,43 \text{ Pa} \quad (4)$$

Onde:

$p$  = pressão de contato [Pa];

$q$  = carga distribuída [N/m];

$bf$  = largura da mesa da viga [m].

Essa pressão uniforme foi aplicada sobre a face superior da viga usando o grupo superfície\_superior.

#### 4. Resultados e discussão

A análise analítica ou manual é fundamental para validar os resultados obtidos por simulação numérica. Neste estudo, a viga metálica biapoiada foi submetida a uma carga distribuída uniforme, e todos os cálculos foram realizados com base nas fórmulas clássicas da Resistência dos Materiais, considerando um modelo linear e elástico. A seguir, apresento o passo a passo completo de cada cálculo, com as devidas substituições e explicações.

#### 4.1. Cálculo da flecha máxima ( $\delta_{\max}$ )

Para este estudo, adotou-se  $q = 26820$  N/m, valor retirado do trabalho de Saraiva (2019),  $L = 6$  m, correspondente ao vão da viga em análise,  $E = 200 \times 10^9$  Pa, referente ao módulo de elasticidade do aço comum e  $I = 1,569 \times 10^{-4}$  m<sup>4</sup>, obtido do catálogo do perfil W410x46,1. Substituindo esses valores na Equação (1), tem-se:

$$\delta_{\max} = \frac{5 \times 26820 \times 1296}{384 \times 200 \times 10^9 \times 1,569 \times 10^{-4}} \approx 0,0144 \text{ m} = 14,4 \text{ mm} \quad (1)$$

A viga, sob essa carga, tende a se curvar para baixo com uma flecha de aproximadamente 14,4 mm — valor que será comparado com a simulação.

#### 4.2. Cálculo do momento Fletor Máximo, ( $M_{\max}$ )

Para este estudo, adotou-se  $q = 26820$  N/m, valor retirado do trabalho de Saraiva (2019), e  $L = 6$  m, correspondente ao vão da viga em análise. Substituindo esses valores na Equação (2), tem-se:

$$M_{\max} = \frac{26820 \times 6^2}{8} = 120690 \text{ N m} = 120,69 \text{ kN m} \quad (2)$$

Este é o maior momento que atua no centro da viga, provocando esforços de tração nas fibras inferiores e compressão nas fibras superiores.

#### 4.3. Tensão Normal Máxima ( $\sigma_{\max}$ )

Usando o momento fletor máximo, obtido na Equação 3;  $c = 0,2015$  m, correspondente à distância entre o eixo neutro e a fibra extrema e  $I = 1,569 \times 10^{-4}$  m<sup>4</sup>, fornecido pelo catálogo do perfil W410x46,1 (Gerdau, 2021). Substituindo esses valores na Equação (3), obtém-se:

$$\sigma = \frac{120690 \times 0,2015}{1,569 \times 10^{-4}} \approx 155009879 \text{ Pa} \approx 155 \text{ MPa} \quad (3)$$

Esse valor representa o esforço de flexão na fibra extrema da viga e se encontra bem abaixo do limite de escoamento do aço estrutural comum (entre 250 e 350 MPa), garantindo a segurança da peça.

#### 4.4. Solução e pós-processamento

Após rodar a simulação, os resultados foram visualizados no módulo *Paravis*, que permite examinar graficamente as seguintes grandezas:

Deslocamento total e por direção (X, Y, Z)

Tensões normais ( $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$ )

Deformações ( $\epsilon$ )

Os resultados da simulação mostraram que o deslocamento vertical máximo da viga (DZ) foi de aproximadamente  $-15$  mm, indicando a flecha negativa no centro do vão, resultado esperado para uma viga biapoiada submetida a uma carga uniformemente distribuída. Além disso, a tensão normal máxima na direção longitudinal ( $\sigma_{xx}$ ) atingiu o valor de 160 MPa, concentrando-se nas fibras extremas da seção transversal. A Figura 4 ilustra graficamente a distribuição do deslocamento ao longo da viga, destacando a região de maior deformação no meio do vão, enquanto a Figura 5 apresenta a distribuição das tensões normais, evidenciando as áreas mais solicitadas pela flexão. Esses resultados confirmam o comportamento teórico previsto pela Resistência dos Materiais, mostrando que as maiores deformações ocorrem no centro da viga e as maiores tensões nas regiões afastadas do eixo neutro.

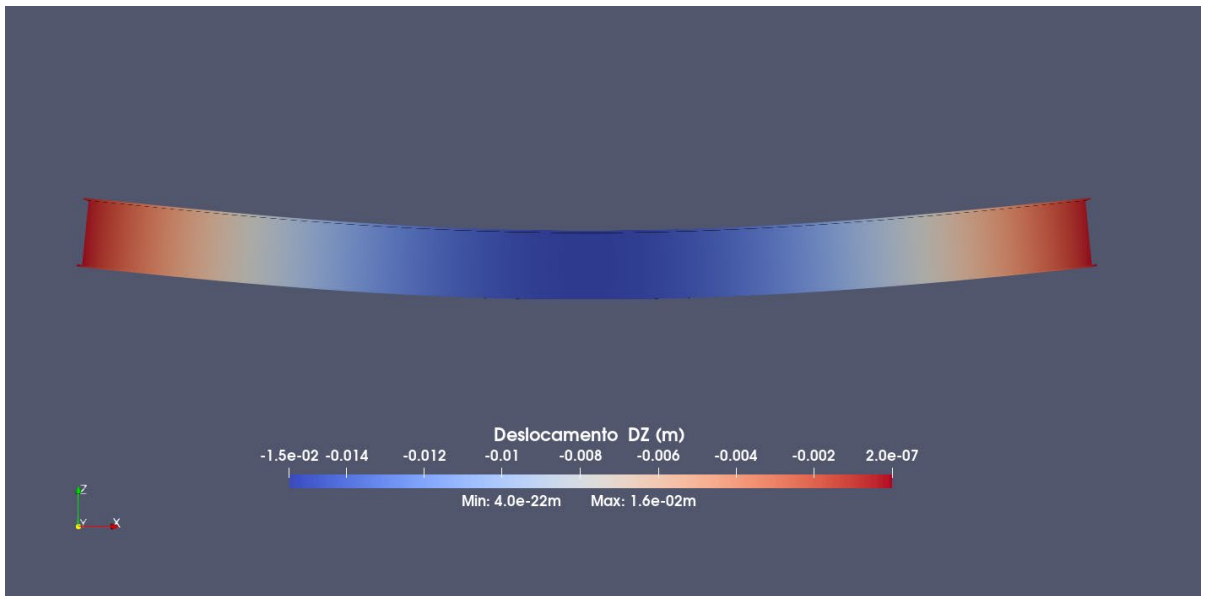


Figura 4 – Distribuição de tensões na fibra inferior central de uma viga biapoiada sob flexão  
Fonte: Elaborado pelo autor no software Salome\_Meca (2025).

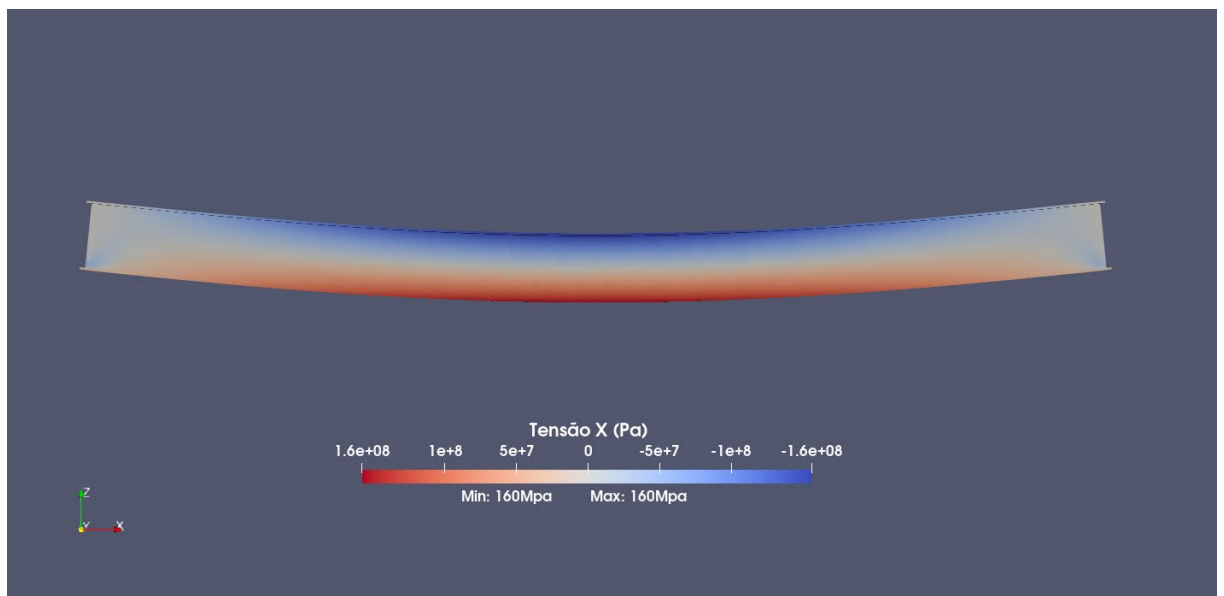


Figura 5 – Distribuição de tensões normais ( $\sigma_{xx}$ ) no módulo Paravis.  
Fonte: Elaborado pelo autor no software Salome\_Meca (2025).

#### **4.5. Discussão e comparação dos resultados**

Após a realização dos cálculos analíticos e da simulação numérica no software Salome\_Meca, foram obtidos os valores de flecha máxima (deslocamento vertical) e de tensão normal por flexão para a viga metálica biapoiada com perfil W410x46,1. Essa etapa é essencial, pois permite verificar se o modelo numérico desenvolvido está coerente com os princípios da resistência dos materiais e com a realidade estrutural.

##### **4.5.1. Deflexão máxima**

A deflexão máxima, ou flecha, é um dos principais parâmetros verificados em projetos estruturais, pois está diretamente relacionada ao conforto e segurança da estrutura — uma flecha muito grande pode não causar colapso, mas pode gerar trincas, vibrações ou até sensação de instabilidade nos usuários.

O cálculo teórico da flecha máxima, utilizando a fórmula clássica para vigas biapoiadas submetidas a uma carga distribuída uniforme, resultou em um deslocamento de aproximadamente 14,4 mm. Já na simulação realizada no módulo Paravis do software Salome-Meca, o deslocamento máximo obtido no eixo vertical (DZ) foi de 15 mm. A diferença entre os dois valores é de apenas 0,6 mm, o que representa uma variação inferior a 5%. Essa proximidade confirma que os resultados numéricos estão coerentes com a teoria, validando tanto o modelo analítico quanto a simulação computacional. A diferença de 0,6 mm, ou seja, menos de 5%, pode ser considerada muito pequena e está dentro dos limites de tolerância aceitáveis em projetos estruturais. Essa diferença ocorre porque a simulação leva em conta fatores que o cálculo analítico não considera, como pequenas deformações fora do plano ideal, a divisão da viga em vários elementos durante a simulação, a representação tridimensional mais próxima da geometria real e também as limitações ligadas à precisão numérica do software.

##### **4.5.2. Tensão normal por flexão**

A tensão máxima por flexão acontece na parte inferior da viga, que é a região mais distante do eixo neutro e onde ocorre a tração causada pelo momento fletor. Pelo cálculo analítico, essa tensão foi de aproximadamente 155 MPa, enquanto na simulação feita no módulo Paravis do

Salome-Meca o valor encontrado foi de 160 MPa. A diferença entre os dois resultados foi de apenas 5 MPa, ou seja, menos de 5%, o que mostra uma ótima concordância entre teoria e simulação. Essa pequena variação pode ser explicada porque a simulação leva em conta detalhes que o cálculo manual simplifica, como a geometria tridimensional da viga e concentrações de tensão em pontos específicos da malha. No geral, os resultados confirmam que o modelo numérico está bem ajustado e que tanto os cálculos teóricos quanto a simulação são ferramentas confiáveis para entender e dimensionar esse tipo de estrutura.

## 5. Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento estrutural de uma viga metálica biapoiada com perfil W410x46,1, submetida a uma carga distribuída linearmente, utilizando duas abordagens complementares: os cálculos analíticos clássicos da Resistência dos Materiais e a simulação numérica via Método dos Elementos Finitos (MEF), implementada no software Salome-Meca 9.10.0.

A partir dos dados extraídos do trabalho de Saraiva (2019) e da tabela de perfis laminados da Gerdau, foram definidos os parâmetros geométricos e as cargas atuantes reais sobre a viga, respeitando as normas técnicas brasileiras. A modelagem seguiu um fluxo completo dentro do Salome-Meca, desde a criação da geometria, passando pela geração da malha e definição física do problema, até a visualização dos resultados no módulo Paravis.

Os cálculos analíticos permitiram obter valores teóricos de flecha, momento fletor, força cortante e tensão máxima por flexão. Esses resultados foram utilizados como referência para validar a simulação numérica. A comparação entre os dois métodos apresentou diferenças inferiores a 5%, demonstrando que o modelo numérico estava bem calibrado e representava de forma fiel o comportamento real da viga.

Além da validação numérica, este estudo evidenciou o potencial do uso do MEF em projetos reais. A simulação permitiu observar efeitos que os cálculos manuais simplificam ou desconsideram, como deformações em regiões específicas da geometria, concentrações de tensões em pontos críticos e influência tridimensional do modelo. Esses recursos tornam a

análise mais próxima da realidade, contribuindo para maior confiabilidade no dimensionamento estrutural.

Outro aspecto importante foi a avaliação crítica do software Salome-Meca. Como pontos positivos, destacam-se o fato de ser gratuito e de código aberto, sua estrutura modular (Geometry, Mesh, AsterStudy e Paravis) e a possibilidade de realizar simulações avançadas, como análises não lineares, modais e térmicas. Tais características fazem dele uma ferramenta acessível e didática, especialmente útil em contextos acadêmicos e de pesquisa. Por outro lado, é preciso reconhecer suas limitações: a ausência de versão em português, a curva de aprendizado acentuada, o processo de pós-processamento menos intuitivo que em softwares comerciais e a falta de suporte técnico especializado. Esses fatores podem representar desafios para iniciantes e demandam dedicação maior no processo de aprendizado.

Em suma, o trabalho não apenas cumpriu com êxito os objetivos propostos, mas também proporcionou uma vivência prática completa de um processo de simulação estrutural. O uso do Salome-Meca se mostrou enriquecedor para a formação acadêmica, ampliando a capacidade crítica do estudante, incentivando a autonomia e promovendo uma compreensão mais profunda da engenharia estrutural. Essa experiência será de grande valor tanto em estudos futuros quanto na prática profissional, reforçando a importância de integrar teoria, simulação numérica e análise crítica no ensino e na aplicação da engenharia civil.

Como sugestão para trabalhos futuros, este estudo pode ser expandido para a análise de outros tipos de metais e sistemas construtivos que vêm ganhando espaço na construção civil, como as estruturas metálicas em steel frame, muito utilizadas em edificações de múltiplos pavimentos. Além disso, seria interessante integrar o uso do software Salome-Meca com ferramentas de modelagem geométrica, permitindo simulações ainda mais detalhadas. Outra possibilidade é aplicar o Método dos Elementos Finitos (MEF) no estudo de uma estrutura modelada no software, imprimir essa estrutura em 3D em escala reduzida e realizar testes experimentais em túnel de vento, comparando os resultados físicos com as análises numéricas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal da Grande Dourados (UFWD) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio concedido por meio da bolsa de Iniciação Científica.

## Referências

BUFFONI, S. S. O. *Deflexão de vigas*. Volta Redonda: Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica, [s.d.]. **Apostila de Resistência dos Materiais**.

**CODE ASTER**. Versão 2025. França: EDF R&D, 2025. Programa de computador. Disponível em: <https://www.code-aster.org/>. Acesso em: 29 set. 2025.

FERNANDES, William Luiz et al. *Análise paramétrica da instabilidade de estruturas reticuladas planas esbeltas com comportamento dinâmico geometricamente não linear pelo método posicional dos elementos finitos*. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Estrutural) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/54188>. Acesso em: 9 set. 2025.

GERDAU. *Perfis estruturais Gerdau*. [S.1]: **Gerdau**, [s.d.]. Disponível em: <https://api.aecweb.com.br/cls/catalogos/28792/22314/catalogo-gerdau-perfis-estruturais.pdf>.

HIBBELER, Russell C. *Resistência dos Materiais*. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010

LIMA, Sabrina Saraiva Menezes Marques de. *Análise comparativa do comportamento estrutural entre vigas de aço e vigas mistas de aço e concreto sob aspectos de deformações e de tensões*. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/49447>. Acesso em: 9 set. 2025.

NEVES, Leonardo Amaro. *Análise de estruturas lineares utilizando o software de código livre Salome-Meca*. Ouro Preto: **Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas**, 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/6664>. Acesso em: 9 set. 2025.

PIMENTA, Paulo de Mattos. *Fundamentos da Mecânica dos Sólidos e das Estruturas*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. Texto de apoio às aulas de pós-graduação. Disponível em: <https://www.professores.uff.br/diomarcesarlobao/wp-content/uploads/sites/85/2017/09/7Fundamentos-2.pdf>. Acesso em: 9 set. 2025.

RODRIGUES, Pablo Francisco. *Análise de tensões de flexão em vigas tridimensionais utilizando técnicas analíticas e o Salome-Meca/Code Aster*. [S. 1.], 2023.

**SALOME-MECA**. Versão 2025. França: EDF R&D, 2025. Programa de computador. Disponível em: <https://www.salome-platform.org/>. Acesso em: 29 set. 2025.

SANTOS, A. A. C.; FONSECA, R. B.; ALVES, D. F. **Otimização de vigas metálicas biapoiadas conforme a NBR 8800 (ABNT, 2008)**. *Caderno de Ciências Exatas*, Aracaju, v. 16, n. 1, p. 65-83, 2020. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/8422>. Acesso em: 9 set. 2025.