

## Elementos Finitos para o Dimensionamento de uma Viga Perfil “I” Utilizada em um Pórtico Móvel

Diego F. Vieira, Rogério C. Coelho, Márcio J. Dias, Almiro M. S. Neto & Wesley A. Fontes

A agilidade e a confiabilidade, requeridas nos projetos de produtos e serviços, têm demandado o uso de tecnologias que favoreçam a confiabilidade dos resultados, minimizando o tempo gasto na confecção de protótipos. Tendo em vista tal necessidade, o uso da tecnologia CAE vem sendo cada vez mais difundido e utilizado. Este artigo tem como objetivo o estudo comparativo entre os dados obtidos pelo método de dimensionamento teórico e os dados obtidos nas simulações computacionais via MEF no dimensionamento de uma viga perfil I a ser aplicada em um pórtico móvel. Para esse fim, foram calculados o módulo de resistência a flexão, momento máximo e a tensão admissível, o que permitiu a determinação do módulo de resistência a flexão e, com base nesses dados, foram selecionados dois perfis com possível aplicação, e posteriormente realizadas simulações via MEF em um software específico. Os resultados obtidos via MEF mostraram-se efetivos na comparação entre os perfis estudados, possibilitando a escolha do perfil com menor peso linear, consequentemente gerando uma otimização dos custos do projeto. Ainda, os resultados obtidos, a partir da simulação, foram compatíveis com os valores teóricos estudados. Desta forma, o MEF mostrou-se aplicável na validação e no desenvolvimento de projetos mecânicos.

**Palavras-chave:** *simulação; projetos; estrutura metálica.*

The agility and reliability required in the projects of products and services has demanded the use of technologies that favor the reliability of the results, minimizing the time spent in the making of prototypes, in view of such necessity the use of CAE technology is becoming more and more widespread and used. This article aims to compare the data obtained by the theoretical design method and the data obtained in the computational simulations via MEF in the design of a profile I beam to be applied in a mobile gantry. For this purpose, the flexural modulus, maximum moment and the permissible stress were calculated, which allowed the determination of the flexural strength modulus. Based on these data, two profiles with possible application were selected, and simulations were carried out via FEM software. The results obtained through MEF were effective in the comparison between the studied profiles, allowing the selection of the profile with lower linear weight, consequently generating an optimization of the project costs. In addition, the results obtained from the simulation were compatible with the theoretical values studied, in this way the MEF proved to be applicable in the validation and development of mechanical designs.

**Keywords:** *simulation; projects; metal structure.*

## Introdução

O sistema produtivo industrial moderno, frente à concorrência de mercado, destaca-se por exigir processo de produção e fabricação dinâmicos com o máximo rendimento e em menor tempo e com maior economia de materiais e mão-de-obra. Ao contrário do que acontecia, em que o método de projeto por tentativa e erro, baseado na forma empírica e experiência do projetista, demandava muito tempo e custos, hoje as tecnologias CAD (Computed Aided Design ou Desenho Assistido por Computador) / CAE (Computer Aided Engineering ou Engenharia Auxiliada por Computador) são ferramentas inovadoras que permitem simular o modelo numericamente para avaliações precisas e confiáveis antes mesmo de ser produzido<sup>1,2,3</sup>.

O sistema CAD/CAE faz uso de um poderoso recurso numérico baseado em formulações matemáticas para resolução de problemas de valor de contorno, conhecido como Método dos Elementos Finitos (MEF). Esse método foi concebido na década de 60, com intenções para uso aeronáutico. A evolução dessa ferramenta está intimamente ligada ao aprimoramento da capacidade de processamento dos computadores. Hoje tem sua aplicação difundida em diversas áreas de engenharia, medicina e odontologia<sup>4,5,6,7</sup>.

Este artigo propõe dimensionar e simular, em software específico, uma viga para uso em um pórtico móvel, equipamento muito utilizado para elevação e transporte de cargas em estabelecimentos, fábricas e indústrias, comparando os resultados obtidos no dimensionamento convencional com os dados obtidos por simulação computacional<sup>8</sup>.

## Referencial Teórico

Máquinas de elevação constituem um grupo de equipamentos de funcionamento, muitas vezes, periódicos, projetados como mecanismos próprios de elevação ou para a elevação e movimentação de cargas. Tais máquinas podem ser do tipo estacionário, portátil ou móvel, empregadas para mover cargas em diversos estabelecimentos, áreas

e departamentos da indústria moderna. As máquinas de levantamento e movimentação de carga são sempre sujeitas a solicitações repetidas e, mesmo que a capacidade nominal do equipamento seja idêntica para diferentes aplicações, ao dimensionar um dispositivo de elevação, devem-se levar em consideração os ciclos de trabalho aplicados a cada situação. Tais máquinas podem ser classificadas levando em consideração os meios de elevação, tais como: talhas, guinchos, guindastes, correias transportadoras, hélices transportadoras e instalações pneumáticas e hidráulicas de transporte<sup>9,10</sup>.

Estes equipamentos são fabricados em grande variedade de modelos, existindo diversos fatores técnicos a serem observados para a sua seleção, dentre eles, podemos destacar, a direção e a distância do percurso a ser vencido<sup>11</sup>. Para garantir o desempenho dos equipamentos de transporte e elevação, o respectivo dimensionamento deve seguir normas e critérios que estabeleçam as condições fundamentais que o permitam atender ao trabalho a ser executado. A escolha da norma ou critério a ser adotado pode influenciar em todas as características do equipamento afetando diretamente as condições de segurança e os custos do projeto<sup>12</sup>.

O dimensionamento de equipamentos para levantamento e movimentação de cargas está atrelado às definições presentes na NBR 8400, que tem por objetivo fixar as diretrizes básicas para o cálculo de partes estruturais e componentes mecânicos de tais dispositivos, definindo também as classes de utilização, os casos de solicitações, as condições de uso e os critérios de fatores de segurança a serem adotados no dimensionamento. Tal norma traz critérios para classificação de cada dispositivo o que permite estabelecer valores de referência que possibilitarão, por exemplo, determinar o fator de segurança a ser adotado no projeto. As estruturas são classificadas em diversos grupos, conforme os serviços que irão executar, essa classificação é de fundamental importância, pois a definição das solicitações a serem aplicadas no projeto está diretamente ligada a essa informação<sup>13</sup>.

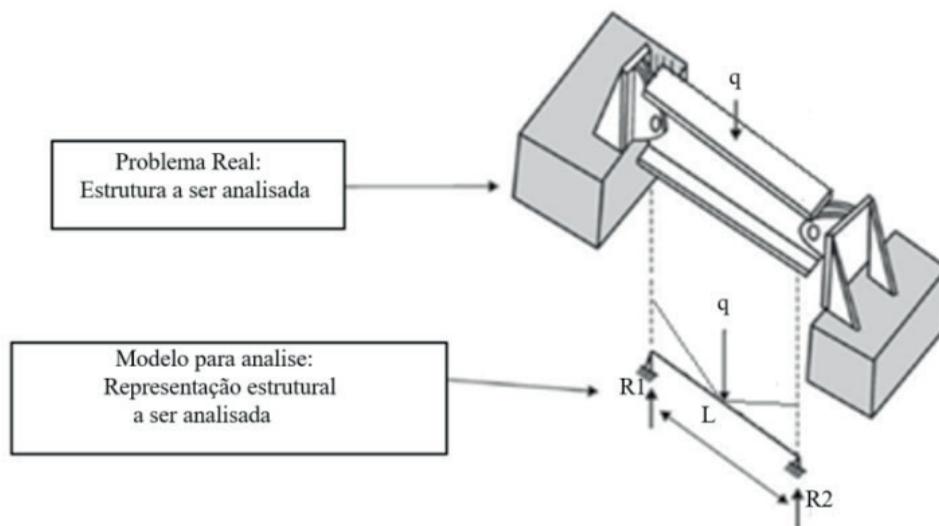
**Tabela 1.** Razão de deslocamentos admissíveis conforme NBR 8800

Vigas de rolamento	Proporção
Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	L/600
Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	L/800
Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	L/1000

Por sua vez, o dimensionamento de qualquer estrutura de aço está ainda condicionado às orientações contidas na NBR8800, esta tem como escopo principal estabelecer, com base no método dos estados-limites, os requisitos básicos que devem ser obedecidos no projeto à temperatura ambiente de estruturas de aço. Esta NBR estabelece diversas condições de dimensionamento de estruturas. Em seu anexo B, a norma descreve as majorações de cargas nominais para a execução de cálculos teóricos a serem aplicados no dimensionamento. Já no anexo C desta, estão descritos os deslocamentos máximos admissíveis em função do vão livre do projeto. A Figura 1 mostra a proporção dos deslocamentos aplicáveis a cada tipo de sollicitação de

projetos com estruturas em aço. Tal norma ainda orienta a majoração das cargas atuantes nos equipamentos de acordo com sua utilização e acionamento. Para talhas e equipamentos leves, a NBR indica uma majoração de 20%<sup>14,15</sup>.

Para problemas simples estruturais de engenharia, é possível determinar um método de cálculo que permita, por exemplo, calcular as reações de apoio e momentos solicitados na estrutura. A Figura 2 ilustra os passos envolvidos na análise estrutural em um sistema submetido à flexão, mostrando ainda uma sequência lógica para a solução do problema que é descrita em função das equações de equilíbrio para o sistema<sup>12</sup>.



**Figura 1.** Análise de flexão em uma viga biapoiada

A partir das informações obtidas pela análise do modelo apresentado na Figura 2, podemos determinar as reações de apoio, o momento fletor, a força cortante e o deslocamento em relação ao eixo x para o sistema, o que nos possibilitará compreender as sollicitações requeridas a esta estrutura<sup>16</sup>.

Para se determinar a equação de equilíbrio para o sistema, podem-se adotar as informações contidas, Equação 1, e para determinar a equação do momento atuante no sistema, podemos utilizar os dados apresentados na Equação 2<sup>17</sup>.

$$\begin{aligned} \sum \text{Forças} &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \\ \sum R1 + R2 - q \cdot L &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Como as forças atuantes nesse exemplo referem-se ao eixo y, pode-se desconsiderar o somatório das forças no eixo x, uma vez que esse somatório será igual a 0.

$$\begin{aligned} \sum \text{Momentos} &= 0 \\ \sum R1 \cdot L &= q \cdot L \cdot (L/2) \end{aligned} \quad (2)$$

Para a determinação das reações de apoio, em R1 e R2, deve-se considerar que a distribuição de cargas está igualmente dividida entre os dois apoios, logo a força exercida será igual para os dois apoios, como mostra a Equação 3<sup>17</sup>.

$$\begin{aligned} R1 &= q \cdot \left(\frac{L}{2}\right) \\ R2 &= q \cdot \left(\frac{L}{2}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

Tendo em vista a Equação 4, que apresenta as informações matemáticas para a determinação do momento fletor máximo para força solicitante pontual a que a estrutura é submetida, e ainda tomando como base a Figura 3 que apresenta graficamente o tal efeito aplicado a estrutura.

$$M = \left(q \cdot \frac{L}{4}\right) \quad (4)$$

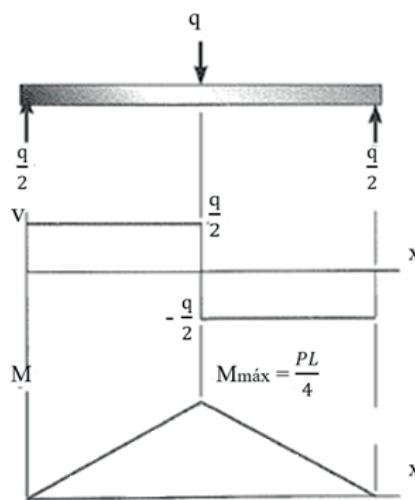


Figura 2. Diagrama para determinação do momento fletor

No dimensionamento de vigas e eixos, as aplicações de cálculos teóricos seguem a mesma lógica descritiva, porém além dos cálculos mostrados anteriormente, faz-se necessário proceder com a determinação do módulo de resistência à flexão a ser aplicado à viga. Esta grandeza é determinada pela razão entre o momento máximo e a tensão de flexão admissível, sendo o primeiro valor calculado e o segundo, uma característica intrínseca do material. A Equação 5 mostra esta relação<sup>18</sup>.

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} \quad (5)$$

A solução apresentada para esse problema é o produto do tratamento matemático clássico, baseado em equações que descrevem o equilíbrio da estrutura. Quando se fala de estruturas mais complexas, o uso de tais técnicas se torna inviável, uma vez que sua formulação se torna trabalhosa e infrutífera. Em casos em que seja preciso resolver um problema de análise de uma estrutura de maior complexidade, a utilização do MEF é recomendada<sup>17,19</sup>.

Para a aplicação de tal método, é necessário seguir algumas fases, são elas: fase de pré-processamento, processamento e pós-processamento. A primeira fase a

ser realizada, pré-processamento, consiste em discretizar o contínuo, dividindo a estrutura em partes distintas e conectadas entre si em pontos denominados nós do modelo. Cada uma dessas partes recebe o nome de elemento finito e a interconexão por meio dos nós ao longo de toda a estrutura forma o que é denominado malha. A precisão do método depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e tipo dos elementos presentes na malha. À medida que o tamanho dos elementos finitos tende a zero, o número de nós tende a infinito, e a solução obtida converge para a solução exata do problema, sendo que a quantidade de nós e elementos vão variar conforme a geometria da situação a ser analisada e da qualidade do resultado esperado. A Figura 3 mostra diversos tipos de geometria de elementos finitos, a escolha da melhor geometria e quantidade de nós a ser adotado na simulação depende exclusivamente da complexidade e geometria da estrutura em estudo<sup>20,21</sup>.

A síntese desse processo pode ser observada na Figura 4, que exemplifica uma placa com um furo em seu centro e a construção da malha que servirá como base para as análises a serem realizadas aplicando MEF<sup>22</sup>.

Para a próxima fase dos cálculos de aplicação do MEF, o processamento, é indispensável definir a geometria do elemento finito e distribuí-lo ao longo da estrutura de forma a representar a estrutura física proposta formando assim uma malha<sup>22</sup>.

Ainda para o processamento, devem-se determinar as condições de contorno, que são as condições iniciais de fixação e as solicitações atuantes. Portanto, cada tipo de aplicação, as condições de contorno deverão ser aplicadas de forma a se aproximar das situações reais às quais a estrutura será solicitada. Assim, quanto mais próxima for essa relação, mais claros e precisos serão os resultados apresentados na última fase da aplicação do MEF à análise dos resultados<sup>17</sup>.

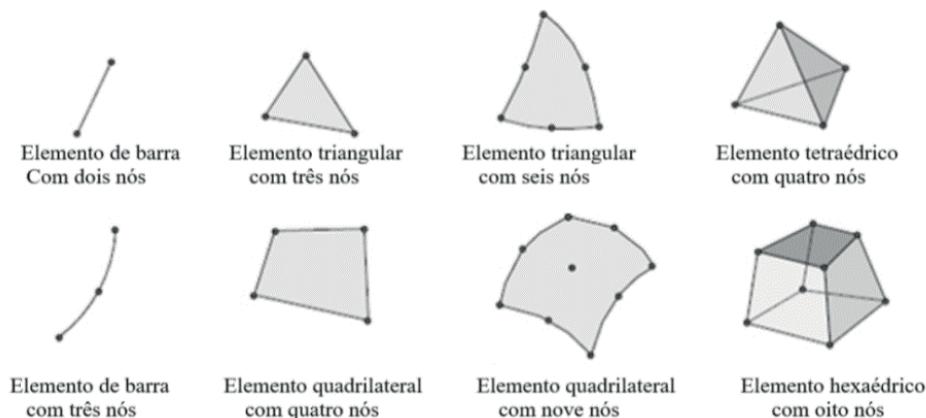


Figura 3. Geometrias diversas para elementos finitos

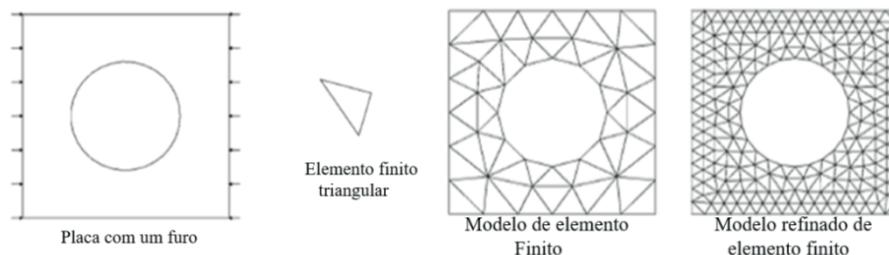


Figura 4. Representação do método de formação de malha MEF

A resolução de problemas estruturais, por elementos finitos, toma como referência a álgebra matricial. As matrizes podem ser vistas como Tabelas retangulares de elementos em que cada entrada depende de dois índices designativos, nos quais operações matemáticas específicas podem ser aplicadas. O primeiro índice indica em que linha está o elemento e o segundo índice indica em que coluna está o elemento. A exemplo disto, considera-se uma mola com uma de suas extremidades engastada e em sua outra extremidade lhe é aplicada uma força de tração, conforme a Figura 5<sup>19</sup>.

Nesse exemplo, a rigidez da mola é contabilizada por meio da relação força-deslocamento para a mola, medindo no ponto de aplicação da força. Quando se analisa um elemento finito, a ideia é a mesma, porém os diversos componentes de rigidez estão relacionados aos componentes de força de deslocamento presentes<sup>17,18</sup>.

Ao analisar a Figura 6, fica perceptível a existência de um elemento de rigidez. Porém, ao se aplicar a mesma analogia em uma viga, por exemplo, pode-se perceber a presença de diversos elementos de rigidez, tais como, a rigidez axial, rigidez a flexão, rigidez à torção e ao cisalhamento. Obviamente a análise matricial de uma viga será proporcionalmente mais complexa do que a análise de uma simples mola. Para sistemas complexos, o número de elementos de rigidez se torna elevadíssimo e a forma mais simples de analisá-lo será com o auxílio de sistema computacional. Para tal, deve-se transformar esses elementos de rigidez em matrizes de rigidez que poderão ser aplicadas ao sistema em análises computacionais<sup>17,21</sup>.

Para exemplificar a obtenção de uma matriz de rigidez equivalente, será usado como exemplo uma barra de espessura constante e comprimento  $L$  inicial definido. Seu módulo de elasticidade, representado por  $E$ , também foi definido e, para o exemplo, deseja-se saber qual é o valor da deformação em vários pontos ao longo do comprimento da barra. A Figura 6 mostra um esquema representativo para esse sistema.

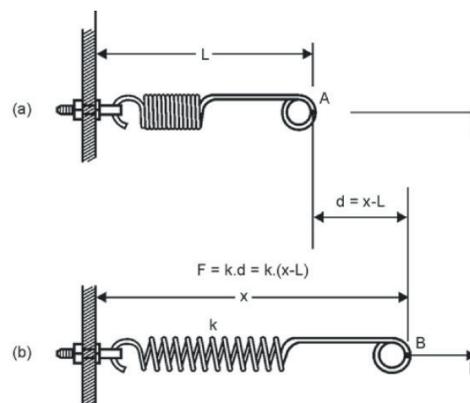


Figura 5. Força de tração aplicada a uma mola engastada

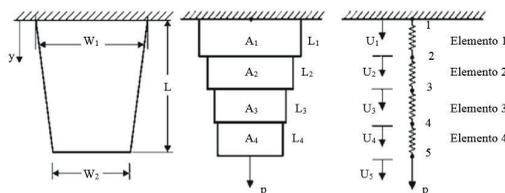


Figura 6. Exemplo de discretização de uma barra

A fim de possibilitar a descrição da matriz de rigidez para esta barra, tendo em vista simplificar sua geometria, o comprimento  $L$  será dividido em quatro partes proporcionais e de igual comprimento e no centro de cada uma dessas partes foi colocado um nó ligado a um elemento mola. Visando determinar a matriz de rigidez equivalente para o sistema, cada parte da barra foi substituída por um elemento mola representando um diagrama de corpo livre, em que o deslocamento é representado por  $U$  e a rigidez característica de cada elemento é representada por  $k$ , conforme apresentado na Figura 6.

Para o diagrama de corpo livre, apresentado na Figura 7, pode-se atribuir um sistema de equações, observando que cada elemento, para estar em equilíbrio, deve ter seu somatório de forças atuantes igual a zero. Essas condições dão margem para a elaboração das equações apresentadas na Equação 6<sup>22</sup>.



um número infinito de fibras longitudinais, sendo que cada fibra age independentemente das demais fibras. A Figura 9 mostra uma representação didática de uma viga apoiada<sup>18,23</sup>.

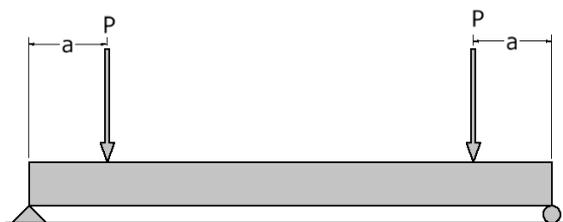


Figura 9. Exemplo de viga apoiada

Devido às cargas perpendiculares, normalmente aplicadas às vigas, elas desenvolvem uma força de cisalhamento interna e um momento fletor que, em geral, variam de ponto a ponto ao longo da viga. Algumas vigas ainda podem estar sujeitas a uma força axial interna, todavia os efeitos dessa força costumam ser desprezados no projeto, visto que, em geral, a tensão axial é muito menor do que as de tensões desenvolvidas por cisalhamento e flexão. Quando se escolhe uma viga para resistir a ambas as tensões de cisalhamento e flexão diz-se que ela foi projetada com base na resistência<sup>24</sup>.

No dimensionamento de uma viga, com base na resistência, é exigido que as tensões de flexão e de cisalhamento atuantes na viga não ultrapassem aquelas admissíveis para o material empregado na fabricação da viga. Se o vão livre da viga for relativamente longo, é orientado ao profissional que o dimensionamento seja realizado primeiramente com base na flexão e posteriormente na resistência ao cisalhamento, para o cálculo do  $S_{req}$  (módulo de resistência a flexão) será utilizada a Equação, na qual o  $M$  (Momento máximo) será determinado no diagrama de momento da viga e a  $\sigma_{adm}$  (Tensão admissível) será determinada pelas especificações técnicas do fabricante<sup>24</sup>.

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{adm}} \quad (9)$$

Para ser possível a utilização da Equação 9, é preciso determinar os diagramas de força cortante e de momento

fletor, encontrando os valores a serem aplicados para o dimensionamento da estrutura em estudo. A definição dessas grandezas deve seguir os mesmos passos do exemplo apresentado na Figura 4, e com tais resultados em mãos, é possível determinar o módulo de resistência à flexão exigido para determinada aplicação<sup>24</sup>.

Com base no resultado obtido, podem-se consultar Tabelas de diversos fabricantes de vigas, a fim de definir qual será a mais adequada ao projeto. Para a seleção da viga, devem-se consultar as Tabelas de referência dos fabricantes, observando a compatibilidade do módulo de resistência, calculado com o valor fornecido pelo fabricante. E ainda, deve-se levar em conta um segundo fator, o peso da viga por metro linear. Para a escolha da viga, observa-se a nomenclatura dela, uma viga W460 x 60 tem uma altura de 460 mm e 60 kg por metro.

A Tabela 2 mostra um exemplo de tabela de vigas de perfil I, suas especificações dimensionais e propriedades mecânicas a serem comparadas com os valores obtidos por meio de cálculos matemáticos.

Tabela 2. Tabela de referência para Viga W

PERFIS I e H (PADRÃO "W")										
Pol.	BITOLA mm x kg/m	EIXO X-X	Massa	d	bf	ESPESSURA		h	d'	Área
		W x	Linear			tw	tf			
		cm <sup>2</sup>	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>
	W 150 x 13,0	85,8	13	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6
	W 150 x 18,0	122,8	18	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4
	W 150 x 22,5 (H)	161,7	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29
	W 150 x 24,0	173	24	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5
	W 150 x 29,8 (H)	221,5	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5
6"	W 150 x 37,1 (H)	277	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8

d – altura externa do perfil; bf – largura da aba; tw – espessura da alma; tf – espessura da aba; h – altura interna do perfil; d' – altura livre da alma; Wx – módulo de resistência à flexão.

## Métodos

Para efetuar o dimensionamento do comprimento da viga a ser utilizada no pórtico móvel, foram tomadas como base as medidas do local onde esse será utilizado. Para tal, foram analisadas as plantas baixas do laboratório de Manutenção Industrial da FATEC SENAI Roberto Mange, situada em Anápolis - GO. No pórtico móvel, será utilizada uma talha mecânica de

acionamento manual da marca KOCH, com número de série 4788, utilizada para elevação de até 3 metros de altura e com capacidade máxima de 2 Ton ou 20 kN.

O dimensionamento teórico da viga foi realizado, utilizando-se cálculos, a fim de determinar o módulo de resistência à flexão, momento máximo e a tensão admissível para a viga. Para tanto, foi considerado o parâmetro de capacidade máxima da talha, seguindo orientações das normas NBR 8400 e NBR 8800 que indicam os fatores de segurança a serem adotados em projetos de estruturas metálicas.

A viga perfil I a ser utilizada, foi selecionada por consultas a tabelas de fornecedores, mediante comparações entre o valor do módulo de resistência à flexão calculado e o informado pelo fabricante nos catálogos. Tendo as informações dos perfis a serem testados, executaram-se os desenhos das vigas perfis I utilizando o software Autodesk Inventor® 2015, para tal as dimensões foram retiradas do catálogo de perfis da Gerdal<sup>25</sup>. Os arquivos eletrônicos dos desenhos foram salvos nas extensões .STEP e .IGS a fim de possibilitar a intercambiabilidade entre as plataformas CAD.

As simulações foram executadas no software ANSYS®, nestas, foram aplicadas a ferramenta Static Strutural que permitiu a análise da viga a ser submetidas a esforços mecânicos. Seguindo as diretrizes do

software, os desenhos com as geometrias dos perfis foram importados para o diretório de arquivos, possibilitando a simulação, a criação da malha a ser aplicada, a determinação dos pontos de engastamento e as cargas aplicadas à viga. Nesta etapa da simulação, foi necessário proceder à criação do material ASTM A572 Grau 50 na biblioteca do ANSYS®. Para isso, foi necessária a coleta de dados em diversas plataformas e literaturas, buscando informações de propriedades mecânicas e físico-químicas do material que influenciariam diretamente os dados dos ensaios, conforme metodologia <sup>26, 27, 28,29</sup>. Para esse projeto, foram gerados pós-simulação, relatórios com a deflexão sofrida pela viga. Foram realizadas duas simulações, primeiro, executou-se a simulação com a viga W150 x 13 e, posteriormente, realizou-se a simulação com o perfil W150 x18, buscando comparabilidade entre os resultados obtidos.

A fim de se comparar as informações de deflexão máxima com os dados do relatório, foram analisadas as tolerâncias de deflexão indicadas na NBR8800, valor calculado, utilizando-se as informações constantes na Figura 3.

A síntese do método para a seleção da viga a ser utilizada no pórtico móvel pode ser observada na Figura 10, que representa o fluxograma do processo.

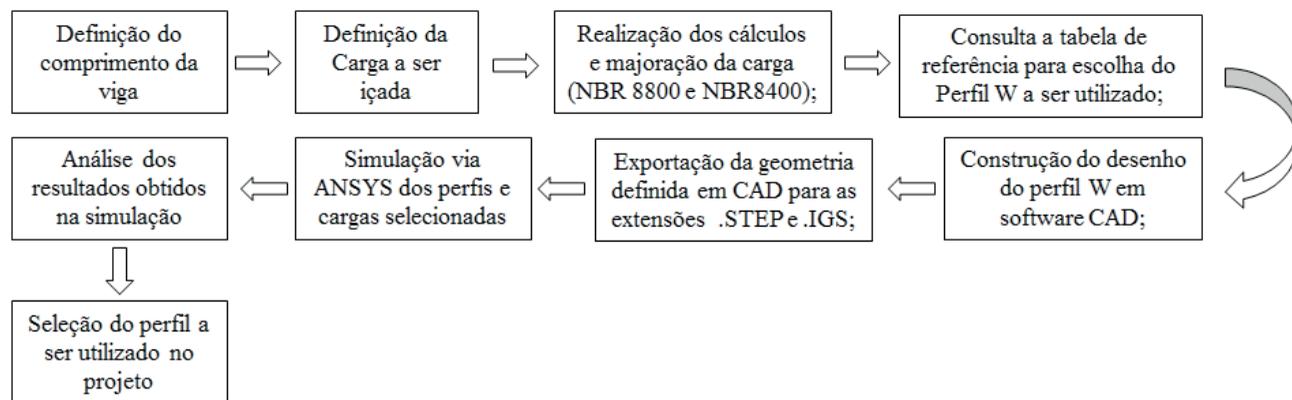


Figura 10. Fluxograma do método utilizado

## Resultados e Discussão

A carga a ser içada pelo pórtico móvel será de 20kN, definidos pela capacidade da talha mecânica disponível na empresa, porém para a realização das simulações computacionais, foi utilizado um valor de 24kN valor 20% maior que o nominal. Essa majoração foi realizada seguindo as orientações contidas na Tabela B 4.3 da NBR8800. A Equação 4 foi utilizada para a determinação do momento máximo a que a viga será submetida resultando num valor  $M_{max}$  de 24 kN possibilitando encontrar, utilizando a Equação 5, o módulo de resistência à flexão com valor de  $S_{req}$  de  $83,5 \times 10^3 \text{ cm}^3$ . Este valor foi utilizado para consulta na Tabela 2, em que o valor do módulo de resistência foi comparado com os dados ali disponíveis. Os valores do módulo de resistência à flexão para os perfis W150 x 13 e W150 x 18 indicados na tabela são respectivamente de  $85,8 \text{ cm}^3$  e  $122,8 \text{ cm}^3$ . Com base na figura, foram definidos dois perfis que atenderam ao  $S_{req}$ , os perfis W150 x 13 e W150 x 18 que foram desenhadas no software Inventor e posteriormente exportadas para o software ANSYS, isso possibilitou a simulação via elementos finitos.

O processo de simulação via elementos finitos gerou para o perfil W150 x 13 uma malha automática com

elementos triangulares inconstantes gerando 2131 nós e 1117 elementos, indicando um valor de deslocamento máximo de 6,0337 mm durante a aplicação da carga de 24 kN. Neste perfil, é possível observar que os deslocamentos indicados aumentam proporcionalmente ao passo que se aproximam do centro da viga, o que confirma os cálculos teóricos que apontam o maior momento neste local. A Figura 13 mostra um comparativo do estado inicial da viga e do deslocamento nela, apresentado durante a simulação. Neste ponto, é importante ressaltar que, para fins didáticos, as figuras tiveram o deslocamento ampliado em duas vezes, a fim de facilitar a visualização dos resultados. Estas figuras mostram ainda duas etiquetas que indicam os pontos de máximo e mínimo deslocamento.

Já para o perfil W150 x 18, o processo de simulação gerou uma malha automática com elementos triangulares inconstantes com 2068 nós e 1082 elementos indicando um deslocamento de 4,3502 mm, observando que, como no perfil analisado anteriormente, os valores do deslocamento aumentam gradativamente quanto mais próximos do centro da viga. A Figura 14 apresenta os valores de deslocamento ao longo da viga os valores estão apresentados em níveis de cores, sendo que vermelho é o nível como maior deslocamento e azul indica o menor deslocamento.

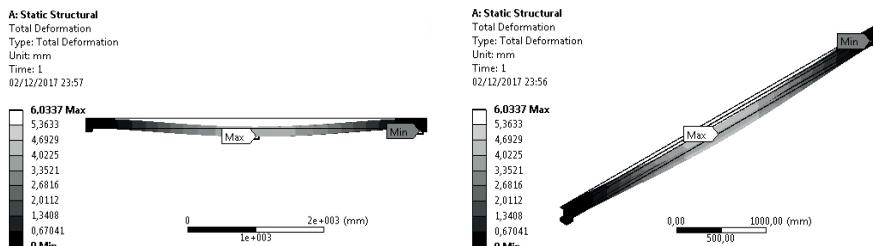


Figura 13. Deslocamento apresentados na simulação (ampliação visual 2.5x) Perfil W150 x 13

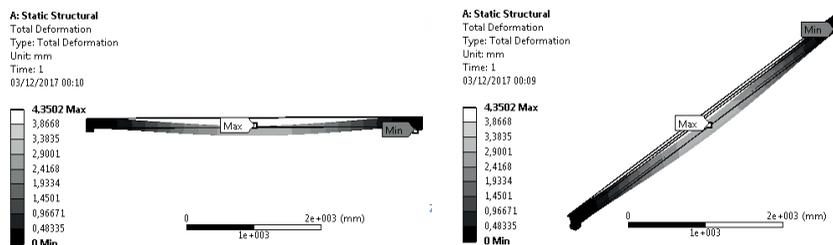


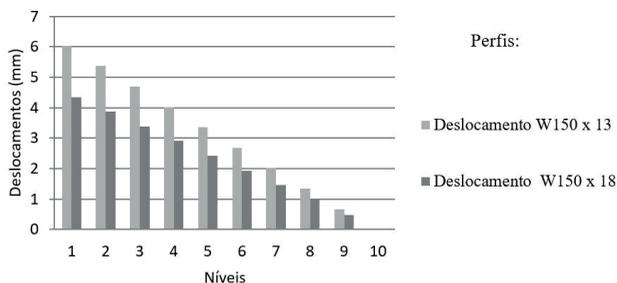
Figura 12. Deslocamento apresentados na simulação (ampliação visual 2x) – Perfil W150 x 18

Os valores para os deslocamentos encontrados estão representados na Tabela 3 que mostra os níveis de deslocamento e os valores correspondentes para cada nível.

**Tabela 3.** Deslocamentos observados nas simulações dos perfis

Nível	Deslocamento W150 x 13	Deslocamento W150 x 18
1	6,0337	4,3502
2	5,3633	3,8668
3	4,6929	3,3835
4	4,0225	2,9001
5	3,3521	2,4168
6	2,6816	1,9334
7	2,0112	1,4501
8	1,3408	0,9667
9	0,6704	0,4833
10	0	0

Observando os dados do Gráfico 1, que representa uma comparação dos valores de deslocamento obtidos nas simulações, é possível perceber que os dois perfis não ultrapassam o valor do deslocamento admissível indicado na NBR8800 de 8 mm. Assim, torna-se possível a escolha de qualquer um dos perfis para serem aplicados no pórtico móvel, uma vez que o maior deslocamento constatado nas simulações computacionais indicou um deslocamento de 6,0337 mm, abaixo do deslocamento máximo admissível na norma.



**Gráfico 1.** Comparações dos deslocamentos observados nos perfis analisados

Como os dois perfis atenderam ao requisito de resistência à flexão, esses podem ser aplicados no pórtico móvel, de maneira que, com esse requisito atendido, o critério de peso linear deve ser adotado como critério de escolha, bem como o perfil W150 x 13 tem menor peso linear, este pode ser utilizado, pois atende aos requisitos mecânicos e estruturais<sup>18</sup>.

## Considerações Finais

Com base nos ensaios e comparações realizados pode-se constatar que a utilização de softwares com base em elementos finitos possibilita uma diminuição do tempo gasto no desenvolvimento de projetos, por facilitar a conferência de dados teóricos obtidos no dimensionamento convencional. O uso de normas regulamentadoras para o desenvolvimento de projetos mecânicos torna-se imprescindível, uma vez que as diretrizes ali contidas determinam as condições de aplicação e dimensionamento de projetos. O método de elementos finitos pode ser utilizado na validação de cálculos teóricos, sendo extremamente versátil no dimensionamento de estruturas mecânicas, tendo seu uso facilitado por plataformas acessíveis e intuitivas. A aplicação do método de elementos finitos propicia a diminuição de custos relativos aos materiais empregados no projeto, possibilitando a escolha do perfil com menor peso linear comprovando ainda a eficiência em sua aplicação.

## Referências

1. Neumann, Clóvis. Gestão de sistemas de produção e operações: produtividade, lucratividade e competitividade. Elsevier Brasil, 2013. 256 p.
2. Toregiani, Mário Vinícius. Otimização de perfil estrutural quanto ao carregamento de flambagem e frequência natural. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
3. Francisco, Beatriz Martins. Simulação no processo de injeção utilizando o software moldflow. 2016. Faculdade de tecnologia de Sorocaba.
4. Alves, Phillippe Daniel. Estratégia global-local aplicada ao Método dos Elementos Finitos Generalizados. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.
5. Silva, João Paulo Moreira da et al. Os métodos de equilíbrio limite e dos elementos finitos na análise de estabilidade de taludes. 2012.

Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

6. Campos, Sandro Neves. Desenvolvimento de programa em linguagem Matlab® para cálculo pelo método de elementos finitos. **2014**. Instituto Superior de Engenharia do Porto.
7. Maciel, Denise Rabelo et al. Simulação de impacto de projéteis de arma de fogo com diferentes calibres no osso temporal= caracterização biomecânica pelo método de elementos finitos. **2016**. Universidade Estadual de Campinas.
8. Rudenko, N. Máquinas de Elevação e Transporte. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos, Editora S.A. Tradutor: João Plaza. **1976**.
9. Costa, Luís do Rosário. Máquinas de Elevação e Transporte. São Luís: If – Maranhão, **2012**. 189 p.
10. Brasil, Haroldo Vinagre. Máquinas de Levantamento. Rio de Janeiro: Guanabara, **1985**. 234 p.
11. Costa, Gilberto Thiago de Paula; da Silva, Felipe Santos. Projeto de graduação II. Universidade Federal Fluminense. **2013**
12. Alves Filho, Avelino. Elementos Finitos: A base da tecnologia CAE. 6. ed. São Paulo: Erica, **2016**. 321 p.
13. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8400: Cálculo de equipamento para levantamento e movimentação de cargas. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **1984**. 108 p.
14. Fakury, Ricardo Hallal. Sobre a revisão da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto, a NBR 8800. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v60n2/v60n02a05.pdf>>. Acesso em: 20 set. **2017**.
15. ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2. Ed. Rio de Janeiro: Abnt - Associação Brasileira de Normas Técnicas, **2008**. 237 p.
16. Beer, Ferdinand P. et al. Estática e Mecânica dos Materiais. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, **2013**. 732 p. Tradução: Antônio Eustáquio de Melo Pertence.
17. Azevedo, Alvaro Ferreira Alves. Método dos Elementos Finitos. Cidade do Porto - Portugal: Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, **2003**. 258 p.
18. Hibbeler, Russel Charles. Resistência dos Materiais. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, **2010**. 659 p. Tradução: Arlete Simille Marques
19. Lipschutz, Seymour; LIPSON, Marc. Álgebra Linear. Porto Alegre: Bookman, **2011**. 431p. Tradução Claus Ivo Doering.
20. Fialho, Arivelton Bustamente. COSMOS: Plataforma CAE do SolidWorks 2008. São Paulo: Erica, **2008**. 353 p.
21. Sousa, Remo Magalhães de. O método de Elementos Finitos: Aplicados ao problema de Condução de Calor. Belém: Nicae, **2003**. 40 p.
22. Fish, Jacob; Belytschko, Ted. Um primeiro Curso em Elementos Finitos. Rio de Janeiro: LTC, **2009**. 263 p. Tradução: Nicolau Nassar Koury e Luiz Machado.
23. Nash, William A.; Potter, Merle C.. Resistência dos Materiais. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, **2014**. 199 p. Tradução: Walter Libardi.
24. AÇOS GLOBO LTDA (São Paulo). Perfis I e H (perfil W). São Paulo: Aços Globo Ltda, 2017. 2 p. Disponível em: <<http://www.acosglobo.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 17 maio **2017**.
25. Skylight Estruturas Metálicas, Publicações técnicas, Perfis Gerdau Açominas Aplicados como Estacas Metálicas em Fundações Profundas. Catálogo 2015. Disponível em: <<http://www.skylightestruturas.com.br/downloads/manual-estacas-metalicas.pdf>>. Acesso em: 20 de set. de **2017**.
26. Standard, American Association State Highway And Transportation Officials. Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel. 2008. Disponível em: <<http://www.steelemotion.com/DropBox/ASTM.A572.pdf>>. Acesso em: 20 set. **2017**.
27. Referência: LCC, Matweb (Org.). Material Property Data. 2017. Source for Materials Information. Disponível em: <<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=9ced5dc901c54bd1aef19403d0385d7f&ckck=1>>. Acesso em: 21 set. **2017**.
28. Leão, Marcelo; ARAGÃO, Moniz de. Estruturas Metálicas: Dimensionamento Segundo a NBR-8800:2008. 2013. Disponível em: [http://transportes.ime.br/~moniz/metálica/estruturas\\_metalicas\\_2013\\_1.pdf](http://transportes.ime.br/~moniz/metálica/estruturas_metalicas_2013_1.pdf)>. Acesso em: 20 set. **2017**.
29. Makeitfrom. ASTM A572 Grade 50 (S 355 GP) HSLA Steel. Disponível em: <<https://www.makeitfrom.com/material-properties/ASTM-A572-Grade-50-S-355-GP-HSLA-Steel>>. Acesso em: 20 set. **2017**.

---

Diego F. Vieira<sup>1\*</sup>, Rogério C.  
Coelho<sup>1</sup>, Márcio J. Dias<sup>1</sup>, Almiro M.  
S. Neto<sup>2</sup> & Wesley A. Fontes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharias, Cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica, Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA, Av. Universitária, km 3,5, Cidade Universitária, CEP 75083-515, Anápolis GO.

<sup>2</sup>Departamento de Metalmeccânica, Cursos de Tecnologia em Manutenção Industrial, FATEC SENAI Roberto Mange, Av. Engenheiro Roberto Mange, nº239, Bairro Jundiá, CEP 75113-630, Anápolis GO

\*E-mail: [engenharia.diegofreire@gmail.com](mailto:engenharia.diegofreire@gmail.com)

