

# DIMENSIONAMENTO DE ELEMENTOS NÃO PRISMÁTICOS DE ESTRUTURAS DE AÇO USANDO ELEMENTOS FINITOS

**Auro Cândido Marcolan Júnior**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo  
79095@upf.br

**Dr. Zacarias Martin Chamberlain Pravia**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo  
zacarias@upf.br

*Resumo.* No âmbito da análise de Estruturas de Aço o mais corriqueiro é a utilização de Métodos Analíticos para a realização de seu dimensionamento. Apesar de ser um método confiável e já a muito estudado e comprovado, que se utiliza de estudos sobre a física do fenômeno e de equações que podem ser deduzidas de forma analítica, e que dão resultados precisos. Este é um método que pode ficar limitado no que tange a complexidade que os cálculos para sua resolução podem atingir frente a crescente complexidade dos problemas a serem resolvidos.

Uma alternativa que surge para a resolução de diversos problemas e mais especificamente para quando a resolução por Métodos Analíticos se torna complexa é o Método dos Elementos Finitos. Que tem como escopo simplificar problemas em frações menores e em seguida somar a resolução simples de cada uma dessas frações em um resultado aproximado, que não é preciso, mas tem como ser avaliado o erro gerado no processo. Assim eliminando alguma possível complexidade que venha a surgir em certos problemas, sendo avaliados por Métodos Analíticos.

O Método dos Elementos Finitos vem a ser uma ótima ferramenta para a resolução de problemas de dimensionamento e avaliação de Estruturas de Aço. Pois nas Estruturas de Aço podem ocorrer diversos estados de tensões que podem provocar os mais diversos efeitos, sendo as Estruturas de Aço passíveis a

dimensionamentos que as tornam esbeltas e suscetíveis a todos esses efeitos. Com o método a avaliação desses efeitos pode ser mais precisa e pode até gerar uma economia no dimensionamento pela melhor avaliação de certas situações complexas não contempladas em sua totalidade por Métodos Analíticos.

Foram definidos 3 problemas para serem resolvidos por Métodos Analíticos e pelo Método dos Elementos Finitos.

**Palavras-chave:** Método dos Elementos Finitos. Análise de Estruturas. Estruturas de Aço.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 Método dos Elementos Finitos

Segundo Azevedo (2003) o método dos elementos finitos se baseia em substituir um domínio complexo (de volume  $V$ ), que está na forma contínua, por um somatório de integrais estendidos a subdomínios de geometria simples (de volume  $V_i$ ), discretizando esta função contínua na forma de somatório. A ilustração desta técnica se da pela seguinte integral de volume de uma função  $f$

$$\int_V f dV = \sum_{i=1}^n \int_{V_i} f dV_i \quad (1)$$

Então

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2)$$

Cada subdomínio  $V_i$  corresponde a um elemento finito de geometria simples, que podem ser um segmento de reta, um triângulo, um quadrilátero, um tetraedro, um paralelepípedo. O somatório dará origem à operação designada assemblagem.

## 1.2 Utilização do Método dos Elementos Finitos dentro das Estruturas de Aço

Segundo Chamberlain (2010) a norma NBR 8800 (ABNT, 2008) e a norma ANSI AISC 360:05 permitem a verificação dimensional de elementos estruturais submetidos a momento de torção, força axial, momentos fletores e forças cortantes. As prescrições do item 5.5.2.3 da NBR 8800 (ABNT, 2008) sugerem que a tensão resistente de cálculo para os estados-limites deve ser igual ou superior à tensão solicitante de cálculo, expressa em termos de tensão normal,  $\sigma S_d$ , ou de tensão de cisalhamento,  $\tau S_d$ , determinadas pela teoria da elasticidade, utilizando-se as combinações de ações de cálculo. Demonstradas a seguir:

Para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão normal:

$$\sigma S_d \leq \frac{f_y}{\gamma_{a1}} \quad (3)$$

Para os estados-limites de escoamento sob efeito de tensão de cisalhamento:

$$\tau S_d \leq \frac{0,6f_y}{\gamma_{a1}} \quad (4)$$

Para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão normal:

$$\sigma S_d \leq \frac{\chi f_y}{\gamma_{a1}} \quad (5)$$

Para os estados-limites de instabilidade ou flambagem sob efeito de tensão de cisalhamento:

$$\tau S_d \leq \frac{0,6\chi f_y}{\gamma_{a1}} \quad (6)$$

Onde,  $\chi$  é o fator de redução associado à resistência à compressão, determinado de acordo com 5.3.3, tornando-se Eq. (7) para tensões normais e Eq. (8) para tensões de cisalhamento. Com  $\sigma_e$  igual à tensão crítica elástica normal e  $\tau_e$  igual à tensão crítica elástica de cisalhamento, para o estado-limite de instabilidade entre instabilidade global e flambagem local.

O fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$ , é dado por:

$$\chi_0 = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_e}} \quad (7)$$

$$\chi_0 = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_e}} \quad (8)$$

$$\chi_0 \leq 1,5 : \chi = 0,658 \chi_0^2 \quad (9)$$

$$\chi_0 > 1,5 : \chi = \frac{0,877}{\chi_0^2} \quad (10)$$

Onde  $\chi_0$  é o índice de esbeltez reduzido, descrito acima dependente da solicitação a que o elemento está submetido.

Ainda segundo Chamberlain (2010) através deste método é garantido que toda a segurança probabilística agregada ao método dos estados-limites esteja presente no dimensionamento pelo Método dos Elementos Finitos.

O Método dos Elementos Finitos pode abranger as mais diversas situações problemáticas dentro do estudo de uma Estrutura de Aço. Dentre eles se encontram a análise global de uma estrutura para se

descobrir se ela é estável ou instável, encontrar reações nos apoios, descobrirem-se as tensões atuantes em cada elemento, ou em cada ligação. E de um modo mais específico analisar um elemento, ou ligação específica em seu âmbito local e ter o poder de dimensionar e estudar aquele elemento de uma forma precisa e pontual para a situação e promover a otimização daquele elemento.

Segundo Marques (2009) a utilização do Método dos Elementos Finitos (análise numérica não linear por elementos finitos) pode ser de grande valia para a verificação da estabilidade global de elementos estruturais de aço, pois pode ser aplicada para casos das mais diversas geometrias e obter resultados apropriados, o que não seria possível com metodologias mais simples que tenderiam a demonstrar resultados mais conservadores. Com a análise não linear, é possível abranger as imperfeições da geometria e do material existente no elemento, se aproximando com o objeto real.

Pode-se analisar a estrutura como um todo modelando em todos os aspectos dela, com elementos, ligações, apoios, de uma forma que se represente fielmente a realidade. Apesar de ser um método muito trabalhoso e de difícil modificação, tornando pouco prático.

De um modo o mais corriqueiro na utilização do método nas Estruturas de Aço é a análise de elementos ou ligações específicas para retirar um dimensionamento mais preciso e racional que talvez não se consiga atingir com as mais corriqueiras análises analíticas.

## 2. METODOLOGIA

Primeiramente definiu-se 3 problemas dentro das Estruturas de Aço a serem analisados pelo Método dos Estados Limites Últimos através da NBR 8800 (ABNT, 2008) e em seguida o mesmo problema sendo analisado pelo Software ANSYS, que se utiliza em sua programação o Método dos Elementos Finitos. Para em seguida ser

possível a comparação do Método Analítico e o Método dos Elementos Finito.

### 2.1 Problemas a serem analisados

Foram escolhidos os seguintes problemas a serem analisados:

- Viga submetida a esforço de flexão;  
Vão da viga: 1200 cm  
Seção da Viga: 500x150x4,75x6,35 mm  
Carga Aplicada sobre a Viga: 100 kN/m

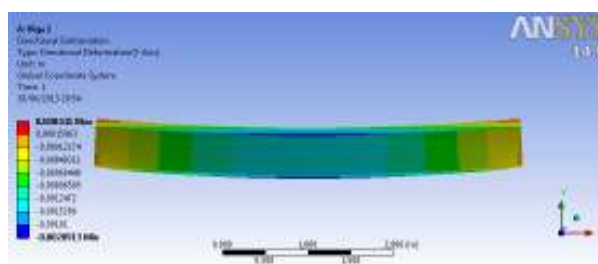


Figura 1 – Vista lateral do deslocamento da Viga (ANSYS).

- Placa submetida a esforço de tração;  
Altura da Placa: 200 mm  
Espessura da Placa: 5 mm  
Ação Solicitante: 100 kN

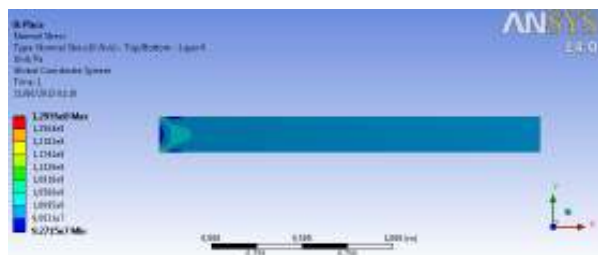


Figura 2 – Tensão Normal na Placa sem furação (ANSYS).

- Placa com furação submetida a esforço de tração;  
Altura da Placa: 200 mm  
Espessura da Placa: 5 mm  
Diâmetro do Furo: 100 mm  
Ação Solicitante: 100 kN

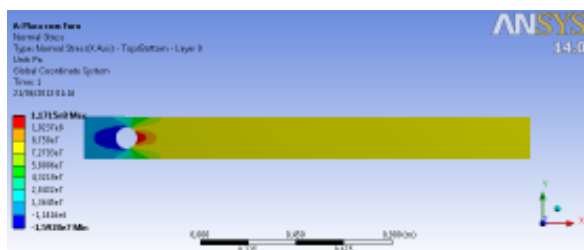


Figura 3 – Tensão Normal na Placa com furação (ANSYS).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Viga

Com o cálculo do deslocamento no centro do vão pelo Cálculo Manual e de outra forma pelo Software ANSYS foi obtido a seguinte tabela:

Tabela 1. Comparação entre os resultados

Método	Deslocamento no centro do vão
Cálculo Manual	2,37 mm
Software ANSYS	2,04 mm

#### 3.2 Placas submetidas à tração

A Tensão Máxima Admissível para a Placa sem Furação é de 227,2 Mpa, calculada manualmente.

A partir da análise por cálculos manuais e através do software Ansys chegou-se a seguinte tabela comparativa para resultados da tensão atuante na placa sem furação:

Tabela 2. Comparação entre os resultados Placa sem Furação

Método	Tensão Atuante
Cálculo Manual	100 MPa
Software ANSYS	129,7 MPa

A Tensão Máxima Admissível para a Placa com Furação é de 129,7 Mpa, calculada manualmente.

A partir da análise por cálculos manuais e através do software Ansys chegou-se a seguinte tabela comparativa para resultados da tensão atuante na placa com furação:

Tabela 3. Comparação entre os resultados Placa com Furação

Método	Tensão Atuante
Cálculo Manual	100 MPa
Software ANSYS	117,15 MPa

Podemos analisar que os resultados são próximos. O Método dos Elementos Finitos é capaz de analisar Tensões Pontuais na placa, por este motivo há essa pequena diferença.

### 4. CONCLUSÕES

Comprova-se que o programa ANSYS é uma fonte confiável para se analisar problemas através do Método dos Elementos Finitos, pois os valores pelos dois métodos ficaram muito próximos, lembrando que este não é um método assertivo e os resultados nele obtidos são aproximações dos valores verdadeiros. Pelo método podem-se indicar valores arrojados como no caso da viga, ou conservadores como no caso das placas.

Este método é uma forma viável de se avaliar problemas que fogem dos padrões convencionais de engenharia, pois esses às vezes são muito complexos para serem avaliados no âmbito analítico.

### 5. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos 1ª edição** Portugal. 2003. 4 – 5 p.

CHAMBERLAIN, Z. P. FICANHA, R. NARDI, F. Dimensionamento de Elementos de Estruturas de Aço usando Métodos Numéricos **Construmetal 2010 – Congresso Latino-Americano da Construção Metálica**. São Paulo. 2010.

MARQUES, L. Métodos Avançados de Análise por Elementos Finitos para a Verificação da Estabilidade de Estruturas Metálicas **VII Congresso de Construção Metálica e Mista**. 2009.