



## O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS E SUA UTILIZAÇÃO PARA ANÁLISE DE INSTABILIDADE ELÁSTICA

**Guilherme Francyan Teixeira Alves<sup>1</sup>, Victória Geovana Hollanda do Amaral<sup>1</sup>, Pedro Ignácio Lima Gadelha Jardim<sup>1,2</sup>, Diego Henrique de Almeida<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Brasil(guilhermefrancyan@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil

**Resumo:** O método dos elementos finitos está tornando-se cada vez mais popular e começando a ser aplicado rotineiramente em projetos de engenharia. Segundo Soriano (2009) o início do MEF foi através do estudo dos engenheiros aeronáuticos Turner e Argy durante a segunda metade da década de 50. Entretanto seja um método com grande potencial, muitos estudantes e profissionais da engenharia desconhecem sua existência. Sendo assim, essa pesquisa teve como objetivo realizar uma revisão da literatura técnica e científica, sendo coletados artigos voltados para o uso de elementos finitos em elementos estruturais, destacando a análise de instabilidade estática. O manual do *Abaqus*, um dos programas mais populares de simulação de elementos finitos evidencia como simular em situações de instabilidade. Sendo assim, é possível verificar como o uso do MEF é poderosa no auxílio a projetos prevendo instabilidades.

**Palavras-chave:** Flambagem; Simulação numérica; Métodos numéricos; Análise estrutural.

### INTRODUÇÃO

O método dos elementos finitos (MEF) vem ganhando espaço e sendo cada vez mais utilizado em estudos e elaboração de projetos de engenharia, devido ao MEF proporcionar resultados com precisões aceitáveis e consistentes, o tornando-se muito confiável, desde que a validação do modelo proposto seja realizada de forma cuidadosa.

Segundo Soriano (2009) o início do MEF foi através do estudo dos engenheiros aeronáuticos Turner e Argy durante a segunda metade da década de 50. Atualmente a utilização do MEF possui grande destaque no uso em análises da mecânica estrutural (TANKUT; TANKUT; ZOR, 2014).

O MEF consiste em um modelo matemático baseado na subdivisão de uma geometria contínua em componentes de geometria menores, sendo definidos como subdomínios, denominados de elementos finitos. Sendo assim, cada resposta de elemento é expressa em termos de número finito de elementos que possuem determinados graus de liberdade. A sua utilização permite analisar elementos com geometrias ou comportamentos físico-mecânicos complexos, como um motor, ponte, edifício ou avião, de forma mais simples, ainda que aproximada (TANKUT; TANKUT E ZOR, 2014).

Além disso, com a evolução dos computadores, a aplicação do MEF foi facilitada, uma vez que um computador capaz de resolver uma enorme quantidade

de problemas numéricos é consideravelmente mais acessível atualmente do que no século passado. Algumas aplicações que podem ser destacadas são: indústrias automotivas, aeronáuticas, e construção civil.

Embora seja uma ferramenta de grande potencial, muitos estudantes e profissionais da engenharia desconhecem a sua existência e funcionalidade para as diversas aplicações da engenharia. Em geral, o MEF não é estudado durante o período da graduação. Com isso, a pós-graduação é o local que geralmente oportuniza aos engenheiros começar a ter contato com o MEF. Ainda assim, não são todos os cursos de pós-graduação que possuem elementos finitos, ou sequer métodos numéricos, em sua estrutura curricular, ainda que como componente optativo.

Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo realizar uma revisão da literatura, por meio de análise de artigos obtidos em banco de dados, visando descrever o funcionamento do MEF, bem como apresentar comentários sobre sua aplicação em determinados tipos de análises estruturais.

### MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa consiste em uma revisão da literatura técnica e científica, realizada em abril de 2024, sendo coletados artigos voltados para o uso de elementos finitos em elementos estruturais. Livros e outros textos técnicos também foram consultados para

garantir o aprofundamento adequado às discussões que foram apresentadas.

Esta revisão também se dedicou a apresentar comentários sobre análises estruturais pouco conhecidas no meio técnico e acadêmico, sendo ilustrado o desenvolvimento de análises de instabilidade elástica (*buckle*).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a abrangência dos resultados obtidos, este capítulo foi dividido em duas seções: aspectos gerais do método dos elementos finitos e introdução à análise de instabilidade elástica pelo método dos elementos finitos.

### ASPECTOS GERAIS DO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O estudo de diversos tipos de estruturas pode ser realizado através da utilização dos elementos finitos. Para o estudo das estruturas dentro do MEF é possível dividir modelos em: reticulados, contínuos, mistos tensotracionados (SORIANO, 2009).

Os modelos reticulados são constituídos de barras pensadas como elementos unidimensionais, dividindo-se em treliças, pórticos e grelhas. Esses elementos são chamados de elementos de barra (SORIANO, 2009).

A criação da malha de elementos finitos consiste no processo de discretização dos componentes do modelo em elementos finitos ligados por nós, para a realização dos cálculos das matrizes de rigidez individuais e montagem do sistema de coordenadas global (CAMPILHO, 2012).

Os elementos finitos são divididos geometricamente em uni, bi e tridimensionais de variadas formas e padrões, com diferentes quantidades de pontos nodais em seus lados e faces (CAMPILHO, 2012; SORIANO, 2009). Os elementos unidimensionais são formados por elementos de barras e viga. Esses elementos são capazes de suportar apenas os esforços axiais, sendo restritos aos esforços de tração e compressão (CAMPILHO, 2012).

Os elementos unidimensionais são formados por elementos de barras e viga. Os elementos de barra suportam apenas os esforços axiais, estão restritos apenas os esforços de tração ou compressão, enquanto os elementos de viga suportam apenas esforços perpendiculares ao seu eixo longitudinal, sendo eles o cisalhamento e momento (CAMPILHO, 2012). Esses elementos são apresentados na Figura 1.



Figura 1. Elementos unidimensionais com dois nós (a) e três nós (b).

Fonte: Dassault Systèmes Simulia (2011)

Os elementos bidimensionais são representados como corpos geométricos no plano, podendo ser elaborados como elementos triangulares e quadrangulares (CAMPILHO, 2012). A Figura 2 apresenta esses elementos.

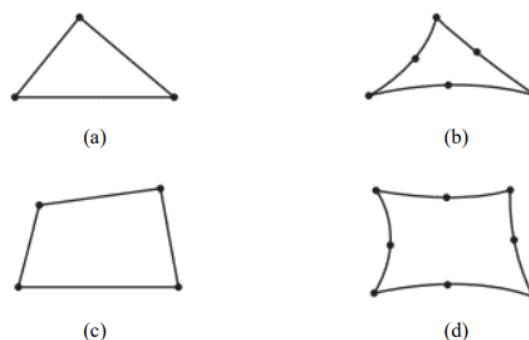


Figura 2- Elementos bidimensionais triangulares com três nós (a) e seis nós (b) e quadriláterais com quatro nós(c) e oito nós(d).

Fonte: Dassault Systèmes Simulia (2011)

Por sua vez, os elementos tridimensionais podem ser compostos por tetraedros (a partir de 4 nós) e hexaedros (a partir de 8 nós). Estruturas axissimétricas ou flexão de placas, podem ser considerados como particulares de sólidos tridimensionais, com aplicação em rotores, pistões e reservatórios. (CAMPILHO, 2012; SORIANO, 2009). A Figura 3 apresenta os elementos sólidos utilizados em análises pelo MEF.

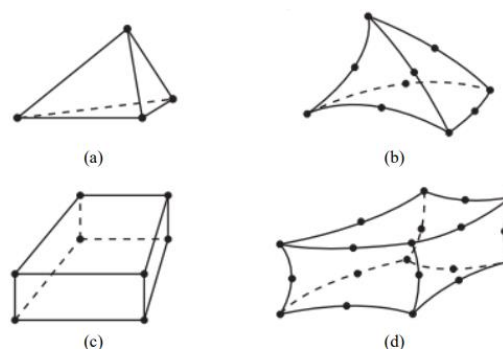


Figura 3- Elementos tridimensionais hexaédricos com quatro nós (a) e dez nós (b) e hexaédricos com oito nós (c) e 16 nós (d).

Fonte: Dassault Systèmes Simulia (2011)



Para a realização da análise estrutural vê-se diante de um modelo representativo da estrutura constituído de diversos elementos com geometrias definidas. Nessa análise, (ALVES FILHO, 2008). Para a construção do modelo numérico, deve-se definir as propriedades físicas e mecânicas, configurações geométricas e distribuição dos elementos finitos, compondo uma malha. Ainda, deve-se estabelecer as condições de contorno do sistema estrutural (SORIANO, 2009).

#### INTRODUÇÃO À ANÁLISE DE INSTABILIDADE ELÁSTICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

A instabilidade (flambagem) pode ser descrita pela variação repentina na forma da estrutura, ocasionando deslocamentos transversais sensíveis à pequenas variações no carregamento (SILVA, 2006).

Esse é um fator de bastante preocupação e cuidado em projetos. A perda da estabilidade dos componentes da seção transversal, por exemplo, pode ocorrer antes da plastificação do elemento, em especial para estruturas compostas por chapas finas, como as estruturas de aço, e contribuir para o colapso global (GOMES, 1993; ROSSI, 2018).

A modelagem computacional é utilizada para prever a ocorrência e magnitude do efeito da flambagem elástica e contribui para a realização do projeto da estrutura, proporcionando a confiabilidade e segurança adequada (GOVINDARAJAN, 2023).

Conforme apontamentos realizados por Mariappan *et al.* (2023), os elementos finitos podem ser utilizados para estimar as cargas críticas de flambagem. Em estruturas de chapa fina, os autores destacam que os elementos de casca são comumente empregados para realização das análises via MEF.

Essas estruturas suportam cargas de projeto principalmente por ação axial ou de membrana, e não por ação de flexão. As análises numéricas de perturbação linear por flambagem permitem, mediante inserção de informações a cerca quantidade de autovetores requeridos, obter os respectivos autovalores (ABBAS, RACHMAN, SAJRIAWATI, 2019).

Existem casos em que, a resposta de uma estrutura é não linear antes do colapso, uma análise geral de flambagem de autovalor pode fornecer estimativas úteis dos modos de colapso (DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA (2011).

O manual de um popular programa comercial para análise de estrutura por elementos finitos, o Abaqus, (DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA, 2011) comenta que para a etapa de perturbação linear inicialmente. Precisa partir de um estado base do modelo. Esse modelo será utilizado utilizando a opção *Initial Conditions*.

Por fim os valores iniciais como tensão, temperatura, variáveis de campo e variáveis dependentes da solução podem ser especificados para uma análise de flambagem de autovalor (DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA, 2011).

Abbs, Rachman, Sajriawati (2019) realizaram um estudo para analisar a flambagem de uma viga de aço. Paraa isso, os autores adotaram elementos de casca compostos por elementos finitos quadrangulares. A condição de contorno da viga foi prevista com engastamento em uma extremidade e uma carga axial em outra extremidade.

#### CONCLUSÃO

Diante dessas condições é notória observar que o uso do MEF é uma ferramenta vasta e poderosa. Entretanto um dos fenômenos que são mais observados na engenharia estrutural, são a ocorrência de instabilidades ou flambagens.

Sendo assim, o emprego do uso MEF para aplicações em projetos estruturais e estudos acadêmicos a partir da graduação é considerado viável e permite a obtenção de informações da estrutura de difícil determinação analítica.

#### REFERÊNCIAS

- ABBAS, A.M; RACHMAN, T. ALIE, M.Z.M; SAJRIAWATI. Comparative study of eigen value to bucling analysis on a beam using nonlinear finite element. IOP Conference series: Earth and Environmental Sience. 2019.
- ALVES FILHO, A. Elementos Finitos: a base da tecnologia CAE. 6th ed. São Paulo: Érica, 2013.
- CAMPILHO, Raul Duarte Salgueiral Gomes. Método dos elementos finitos: ferramentas para análise estrutural. Porto: Publindústria Produção de Comunicação Ltda, 2012.
- DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA. Abaqus/CAE user's manual. 6.11. [S. l.]: Dassault Systèmes Simulia, 2011.
- SILVA, A.L.R.C. Análise Numérica Não-Linear da Flambagem Local de Perfis de Aço estrutural submetidos à compressão Uniaxial. Tese. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- SORIANO, H. L. Elementos finitos: formulação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.
- TANKUT, N.; TANKUT, A. N.; ZOR, M. Finite Element Analysis of Wood Materials. Drvna Industrija, vol. 65, no. 2, p. 159–171, 2014.