IFESTRUT: ANÁLISE ESTRUTURAL PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

ISABELA C. D. PARRA[1], GUSTAVO C. NIRSCHL[2]

[1] Graduando em Engenharia Civil, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, isabelacassia19@gmail.com
[2] Professor MSc. da área de Edificações, IFSP, Câmpus Votuporanga, nirschl@gmail.com
Área de conhecimento (Tabela CNPq): Mecânica das Estruturas - 3.01.02.04-9

Apresentado no
9° Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP
11 a 13 de dezembro de 2018 - Boituva-SP, Brasil

RESUMO: A maioria dos softwares de cálculo da área de Engenharia Civil não apresenta todos os passos de resolução. Diferenciando-se destes, o grupo de pesquisa do qual os autores fazem parte desenvolve programas que detalham os cálculos e descrevem de forma breve a teoria envolvida, tendo como finalidade ajudar alunos, professores e profissionais da área. O programa aqui apresentado é um novo módulo do programa IFESTRUT, já disponível *on-line*, para análise estrutural pelo Método de Elementos Finitos (MEF).

PALAVRAS-CHAVE: Análise Estrutural; Software; Método dos Elementos Finitos.

IFESTRUT: STRUCTURAL ANALYSIS BY FINITE ELEMENTS METHOD

ABSTRACT: Most calculation software in the Civil Engineering area does not present all the resolution steps. Differentiating from these, the research group of which the authors are part develops softwares that detail the calculations and briefly describes the theory involved, with the purpose of helping students, teachers and professionals in the area. The software presented here is a new module of the IFESTRUT program, already available online, for structural analysis by the Finite Element Method (FEM).

KEYWORDS: Structural analysis; Software; Finite elements method.

INTRODUÇÃO

O FTOOL (2017), é um exemplo de programa de computador da área de Engenharia Civil que realiza os cálculos mas não mostra todos os passos de cálculo, somente a resposta final. Porém, muitas vezes, é importante para o projetista conhecer todo o funcionamento interno do programa para verificar se está de acordo com o esperado. Com o objetivo de atender principalmente os alunos, os professores, e os profissionais da área, foi criado um grupo de pesquisa cadastrado no CNPq que desenvolve programas de Engenharia, sendo que, ao final, é possível gerar um relatório PDF contendo os valores internos calculados e uma breve explicação do método utilizado. Neste artigo, será apresentado um módulo para análise de estruturas lineares planas sem rótula pelo método dos elementos finitos, incorporado a um programa já disponível (denominado IFESTRUT) que contem outros módulos de cálculo.

on-line

MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Assan (2003), o Método dos elementos finitos mais usual é o baseado no Método de Rayleigh-Ritz e prevê a divisão do domínio de integração em um número finito de pequenas regiões denominadas elementos finitos. E isto pode ser feito para elementos lineares, de lâmina e tridimensionais. O programa aqui apresentado somente irá tratar de elementos lineares como o exemplo da figura a seguir:

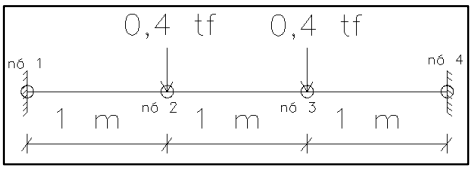

FIGURA 2. Exemplo de estrutura linear

Para a resolução, é preciso montar a matriz de rigidez e o vetor de cargas distribuídas dos elementos, como pode ser visualizado no item a seguir (resultados), e posteriormente juntá-los em um sistema linear global a fim de obter, de início, os deslocamentos nodais. Em seguida, há formulação para obter os esforços nodais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, encontra-se um exemplo de estrutura desenhada no IFESTRUT a ser calculada pelo módulo Método dos elementos finitos. Nas Figuras 2 e 3, mostra-se parte do relatório gerado em PDF.

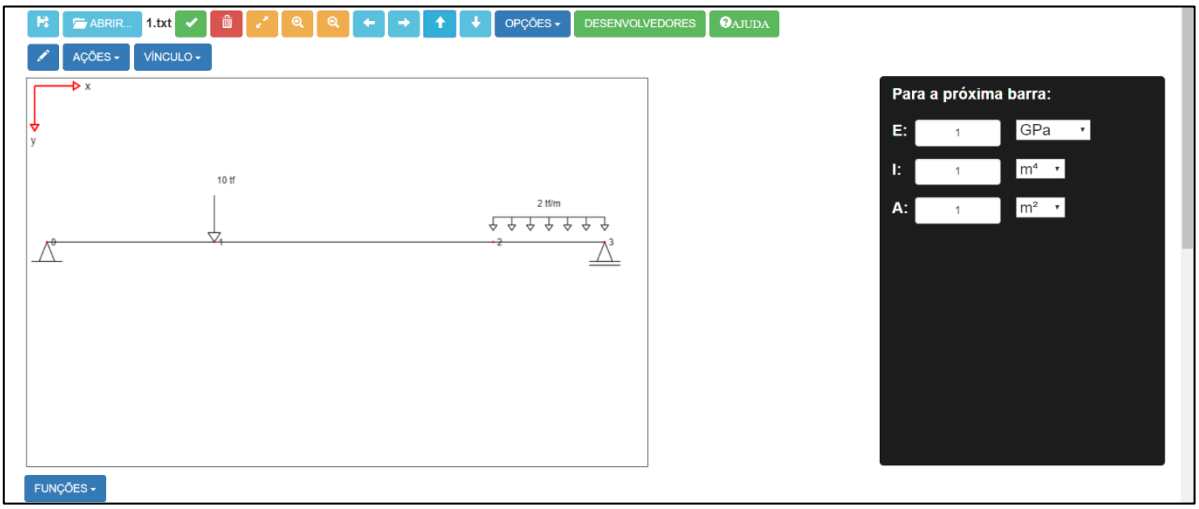

FIGURA 2. Exemplo de uma estrutura desenhada pelo programa, que será calculada pelo módulo do MEF.

MATRIZ DE RIGIDEZ DE UM ELEMENTO FINITO GENÉRICO:

$$k = \begin{bmatrix} \frac{E*A}{l} & 0 & 0 & -\frac{E*A}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12*E*I}{l^3} & \frac{6*E*I}{l^2} & 0 & -\frac{12*E*I}{l^3} & \frac{6*E*I}{l^2} \\ 0 & \frac{6*E*I}{l^2} & \frac{4*E*I}{l} & 0 & -\frac{6*E*I}{l^2} & \frac{2*E*I}{l} \\ -\frac{E*A}{l} & 0 & 0 & \frac{E*A}{l} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12*E*I}{l^3} & -\frac{6*E*I}{l^2} & 0 & \frac{12*E*I}{l^3} & -\frac{6*E*I}{l^2} \\ 0 & \frac{6*E*I}{l^2} & \frac{2*E*I}{l} & 0 & -\frac{6*E*I}{l^2} & \frac{4*E*I}{l} \end{bmatrix}$$

VETOR DE CARGAS DISTRIBUÍDAS DE UM ELEMENTO FINITO GENÉRICO:

$$\mathrm{rd} = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{q*l}{2} \\ \frac{q*l^2}{12} \\ 0 \\ \frac{q*l}{2} \\ -\frac{q*l^2}{12} \end{bmatrix}$$

Abaixo segue a Resolução

Elemento1- Nós(0 - 1)
Módulo de Elasticidade (E): 1.000GPa=1000000.000kN/m^2
Momento de Inércia (I): 1.000m^4
Área da seção (A): 1.000m^2
Comprimento da Barra (l): 3.000 m

FIGURA 3. Parte do relatório PDF gerado.

Segue abaixo a Matriz de rigidez do elemento (k):

3.3333e+5	0.0000	0.0000	-3.3333e+5	0.0000	0.0000
0.0000	4.4444e+5	6.6667e+5	0.0000	-4.4444e+5	6.6667e+5
0.0000	6.6667e+5	1.3333e+6	0.0000	-6.6667e+5	6.6667e+5
-3.3333e+5	0.0000	0.0000	3.3333e+5	0.0000	0.0000
0.0000	-4.4444e+5	-6.6667e+5	0.0000	4.4444e+5	-6.6667e+5
0.0000	6.6667e+5	6.6667e+5	0.0000	-6.6667e+5	1.3333e+6

Matriz de cargas distribuidas (rd):

0.0000
0.0000
0.0000
0.0000
0.0000
0.0000

Elemento2- Nós(1 - 2)
Módulo de Elasticidade (E): 1.000GPa=1000000.000kN/m^2
Momento de Inércia (I): 1.000m^4
Área da seção (A): 1.000m^2
Comprimento da Barra (l): 5.000 m

Segue abaixo a Matriz de rigidez do elemento (k):

2.0000e+5	0.0000	0.0000	-2.0000e+5	0.0000	0.0000
0.0000	96000	2.4000e+5	0.0000	-96000	2.4000e+5
0.0000	2.4000e+5	8.0000e+5	0.0000	-2.4000e+5	4.0000e+5
-2.0000e+5	0.0000	0.0000	2.0000e+5	0.0000	0.0000
0.0000	-96000	-2.4000e+5	0.0000	96000	-2.4000e+5
0.0000	2.4000e+5	4.0000e+5	0.0000	-2.4000e+5	8.0000e+5

Matriz de cargas distribuidas (rd):

0.0000
0.0000
0.0000
0.0000
0.0000
0.0000

Elemento3- Nós(2 - 3)
Módulo de Elasticidade (E): 1.000GPa=1000000.000kN/m^2
Momento de Inércia (I): 1.000m^4
Área da seção (A): 1.000m^2
Comprimento da Barra (l): 2.000 m

Segue abaixo a Matriz de rigidez do elemento (k):

5.0000e+5	0.0000	0.0000	-5.0000e+5	0.0000	0.0000
0.0000	1.5000e+6	1.5000e+6	0.0000	-1.5000e+6	1.5000e+6
0.0000	1.5000e+6	2.0000e+6	0.0000	-1.5000e+6	1.0000e+6
-5.0000e+5	0.0000	0.0000	5.0000e+5	0.0000	0.0000
0.0000	-1.5000e+6	-1.5000e+6	0.0000	1.5000e+6	-1.5000e+6
0.0000	1.5000e+6	1.0000e+6	0.0000	-1.5000e+6	2.0000e+6

Matriz de cargas distribuidas (rd):

0.0000
20.000
6.6667
0.0000
20.000
6.6667

FIGURA 4. Parte do relatório PDF gerado.

O relatório mostra ainda o sistema global. Após, mostra sua resolução (valores dos deslocamentos nodais) e a teoria e cálculos restantes até se calcularem os esforços nodais.

CONCLUSÕES

Com o avanço das tecnologias, os engenheiros civis estão cada vez mais necessitando de computadores para a obtenção de resultados, uma vez que os programas dão as respostas em pouco tempo de processamento. No entanto, a resposta pode não ser a esperada pelo usuário, dificultando o entendimento dos resultados. Neste contexto, a característica principal do programa aqui apresentado, o relatório PDF, contribui significativamente para o estudo, por parte de estudantes, professores e recém-formados, do Método dos Elementos Finitos aplicado à analise de estruturas lineares planas sem rótulas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia pela bolsa recebida no ano de 2018, por meio do programa PIBIFSP.

REFERÊNCIAS

ASSAN, A. E. Método dos Elementos Finitos: primeiros passos. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003.

FTOOL. Ftool para Windows, versão 4.00. Rio de Janeiro: PUC-Rio, 2017. Disponível em <https://www.alis-sol.com.br/Ftool/ >. Acesso em: 30 mar. 2018.