USO DE ESTRATÉGIAS ATIVAS NO ENSINO DE MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2022.3795

André Solano Ferreira Rodrigues Maiolini - andre.maiolini@hotmail.com
Instituto Mauá de Tecnologia

Marcelo Otávio dos Santos - marcelo.santos@maua.br
Instituto Mauá de Tecnologia

Konstantinos Dimitriou Stavropoulos - kdstavro@gmail.com
Instituto Mauá de Tecnologia

Resumo: *Neste artigo relata-se a metodologia adotada no ensino do Método dos Elementos Finitos (MEF) através de uma abordagem prática voltada para o aluno, inserido na ementa das disciplinas relativas ao tema "Mecânica dos Sólidos" oferecidas para o curso de graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia Mauá. Os assuntos são apresentados em aulas teóricas e práticas. As disciplinas dispõem de material didático de apoio composto por livros, notas de aulas e tutoriais elaborados para as aulas práticas com computador. Na disciplina "Método dos Elementos Finitos" o tema é apresentado fundamentando-se no Princípio da Energia Potencial Total para problemas estruturais, limitados, neste trabalho, às estruturas planas em regime de comportamento linear. A técnica dos elementos finitos é então introduzida com o objetivo de geração de soluções aproximadas. Discutem-se aspectos de discretização e qualidade da aproximação. As aulas práticas realizam-se inicialmente através do programa MATLAB® onde os alunos são protagonistas do aprendizado realizando programações e calculando as estruturas propostas. Os alunos matriculados na disciplina mencionada têm demonstrado uma resposta muito positiva em termos de aprendizado na medida em que verificam que todos os aspectos conceituais apresentados em sala de aula são efetivamente empregados nas simulações.*

Palavras-chave: *Aprendizagem baseada em problemas. Método dos elementos finitos. Simulação computacional. Programação.*

USO DE ESTRATÉGIAS ATIVAS NO ENSINO DE MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS NO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA: ESTUDO DE CASO

1 INTRODUÇÃO

A simulação teórica do comportamento dos sólidos e das estruturas tem por base a formulação de modelos matemáticos e sua resolução pode ocorrer na forma analítica ou numérica. Os pilares mestres para a construção dessa modelagem são a Mecânica do Contínuo (Spencer,1980) e os Métodos Numéricos (Zienkiewicz e Morgan, 1983).

A Mecânica do Contínuo fornece os princípios gerais para a formulação de modelos teóricos capazes de representar com maior ou menor rigor o comportamento físico real, sempre se admitindo a hipótese fundamental de continuidade do meio material (Proença, 2011). Os métodos numéricos, por sua vez, decorrem do desenvolvimento de estratégias consistentes e eficientes de busca de solução suficientemente aproximada dos modelos matemáticos formulados. Nesse sentido, disciplinas relacionadas aos dois grandes temas mencionados possuem destacada importância para a formação conceitual de futuros engenheiros e engenheiras.

Neste trabalho, relata-se a experiência de ensino através de metodologias ativas de aprendizagem do Método dos Elementos Finitos e da Simulação Computacional aplicada a sistemas mecânicos e estruturas, inserido na ementa da disciplina intitulada "Método dos Elementos Finitos (MEF)", oferecida para o curso de graduação em Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia Mauá do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

Para a montagem dessa estratégia de ensino-aprendizagem, levou-se em conta as competências estabelecidas nas novas Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) de Engenharia (MEC, 2019), o que incluiu analisar quais competências que serão desenvolvidas nos(as) estudantes. Dentre as competências constantes nas DCNs, as que serão desenvolvidas pelos estudantes nessa disciplina são:

II – Analisar e compreender os fenômenos físicos e químicos por meio de modelos simbólicos, físicos e outros, verificados e validados por experimentação.

a) *ser capaz de modelar os fenômenos, os sistemas físicos e químicos, utilizando as ferramentas matemáticas, estatísticas, computacionais e de simulação, entre outras;*
b) *prever os resultados dos sistemas por meio dos modelos;*
c) *verificar e validar os modelos por meio de técnicas adequadas.*

VIII - Aprender de forma autônoma e lidar com situações e contextos complexos, atualizando-se em relação aos avanços da ciência, da tecnologia e aos desafios da inovação.

a) *ser capaz de assumir atitude investigativa e autônoma, com vistas à aprendizagem contínua, à produção de novos conhecimentos e ao desenvolvimento de novas tecnologias.*
b) *aprender a aprender.*

Na aprendizagem ativa que é proposta na disciplina, principalmente na abordagem de ensino baseado em problemas, os alunos são estimulados a resolverem casos reais de engenharia através da formulação de programas computacionais simples utilizando a plataforma MATLAB®. A fundamentação teórica que trará o embasamento e a segurança ao aluno é feita em uma etapa anterior na mesma disciplina.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O método dos elementos finitos é uma maneira numérica para a resolução de problemas de matemática e engenharia (Filho, 2007). Normalmente o método dos elementos finitos é muito utilizado para resolução de problemas envolvendo análises estruturais estáticas e dinâmicas, potenciais eletromagnéticos, transferência de calor e transporte de fluidos. Antes do uso e desenvolvimento de computadores avançados a análise estrutural de geometrias mais complexas se via limitada devido à enorme quantidade de equações associadas ao processo. Para esses problemas geralmente não é possível a obtenção de uma solução analítica.

O aumento da capacidade computacional exponencial dos últimos anos agora permite que problemas antes considerados inviáveis possam ser resolvidos rapidamente em laptops pessoais. Soluções analíticas são dadas por expressões matemáticas, válidas para qualquer ponto no corpo estudado, geralmente requerendo a solução de uma equação diferencial parcial ou ordinária, que por possuírem carregamentos e complexas geometrias, são de difícil resolução. Portanto, é mais conveniente a utilização de métodos numéricos como o método dos elementos finitos para obter resultados aproximados aceitáveis para estes problemas. A formulação do problema em elementos finitos resulta na solução de múltiplas equações algébricas simultaneamente ao invés da resolução de equações diferenciais.

Para a resolução dos problemas são necessários apenas alguns dados de entrada. Dentre eles estão a posição ou coordenada dos nós do elemento, a forma que os nós são conectados, as forças aplicadas e as condições de vinculação. Os passos principais para a obtenção destes resultados são:

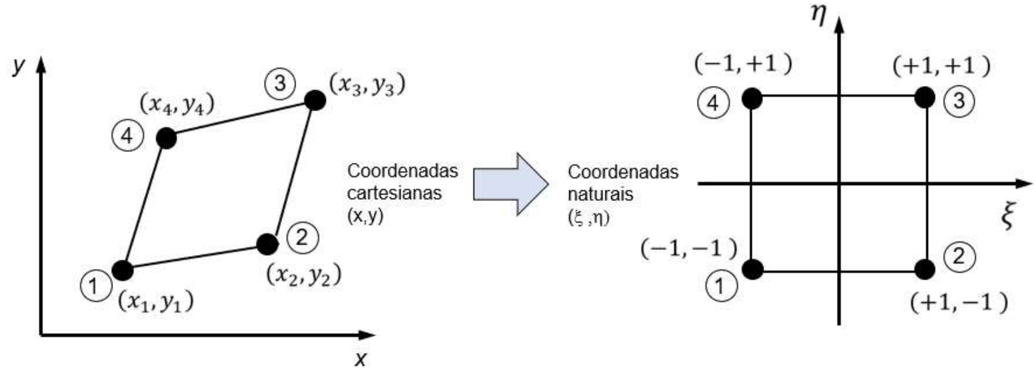
- Discretização: divisão do domínio em elementos e seus respectivos nós e graus de liberdade. Este passo é especialmente importante pois determina a precisão do resultado. Além disso, o julgamento correto do tamanho e forma dos elementos escolhidos é de suma importância.
- Obtenção da Matriz de Rigidez Global: para o cálculo da matriz de rigidez do elemento utiliza-se a quadratura de Gauss. A matriz de rigidez global da estrutura é obtida somando-se as matrizes de rigidez de cada elemento.
- Aplicação das condições de contorno: aqui definem-se quais graus de liberdade ficarão livres e quais serão fixados, ou seja, suportes e deslocamentos de cada nó, além das forças externas.
- Resolução do problema: para a resolução do sistema de equações lineares obtido é utilizado a fatoração LU do MATLAB®.
- Pós processamento: etapa definida para a obtenção das informações desejadas como reações de apoio e tensões atuantes. Este passo ajuda a analisar locais de possíveis falhas ou, em contrapartida, de pouco estresse, expressando de maneira geral a situação do componente analisado. Também é mostrado um desenho da estrutura antes e depois da deformação.

A precisão dos resultados depende do número de elementos utilizados. Quanto maior o número de elementos mais precisos são os resultados. O objetivo de se propor aos alunos que façam os programas em MATLAB® na disciplina é didático. Para que o estudante entenda todas as etapas para uma análise pelo Método dos Elementos Finitos. O objetivo não é substituir os programas comerciais disponíveis no mercado. Desta maneira o estudante utilizará os programas comerciais com maior confiança e compreensão numa etapa posterior.

2.1 ELEMENTO QUADRILÁTERO DE 4 NÓS

O elemento finito quadrilátero bilinear, também conhecido como quadrilátero de quatro nós, é um elemento bidimensional usado na análise de elementos finitos para obter uma solução aproximada de um problema definido por meio de equações diferenciais. Cada elemento quadrilátero possui quatro nós, os quais contêm dois graus de liberdade cada um. As direções x e y do elemento são descritas por funções de forma lineares. Trata-se de um elemento com formulação isoparamétrica mapeado por coordenadas naturais ξ e η, cuja matriz de rigidez [*K*] será apresentada mais à frente é calculada através de uma integração numérica pelo Método da Quadratura de Gauss.

Figura 1 – Representação do Elemento Quadrilátero de 4 nós nos sistemas cartesiano e natural.



Fonte: próprios autores

Um elemento finito quadrilátero bilinear, com módulo de elasticidade *E*, coeficiente de Poisson ν e espessura *t*, tem seus deslocamentos nodais desconhecidos expressos pela matriz coluna $\{\delta\}$. A matriz de deslocamento de um ponto no interior do elemento pode ser obtida pela multiplicação da matriz Função de Forma $[N]$ com a matriz $\{\delta\}$, onde as Funções de Forma são responsáveis pela conversão dos deslocamentos dos nós para os deslocamentos no interior do elemento por interpolação (Chandrupatla & Belegundu, 2012). Utilizando coordenadas naturais, para o elemento quadrilátero de 4 nós, as Funções de Forma são dadas pelas Equações (1) à (4).

$$N_1 = \frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta) \tag{1}$$

$$N_2 = \frac{1}{4}(1+\xi)(1-\eta) \tag{2}$$

$$N_3 = \frac{1}{4}(1+\xi)(1+\eta) \qquad (3)$$

$$N_4 = \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta) \qquad (4)$$

Para um campo de deslocamentos compatíveis, as funções geometria (*x* e *y*) e deslocamentos (*u* e *v*) do elemento em coordenadas naturais são expressas, respectivamente, pelas Equações (5) à (8).

$$x(\xi,\eta) = N_1x_1 + N_2x_2 + N_3x_3 + N_4x_4 \qquad (5)$$

$$y(\xi,\eta) = N_1y_1 + N_2y_2 + N_3y_3 + N_4y_4 \qquad (6)$$

$$u(\xi,\eta) = N_1u_1 + N_2u_2 + N_3u_3 + N_4u_4 \qquad (7)$$

$$v(\xi,\eta) = N_1v_1 + N_2v_2 + N_3v_3 + N_4v_4 \qquad (8)$$

Como está sendo realizado uma mudança de coordenadas cartesianas para coordenadas naturais, faz-se necessário a inserção do operador Jacobiano, Equação (9).

$$\underset{(2x2)}{[J]} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \qquad (9)$$

Um ponto no interior do elemento bidimensional, tem seu estado de deformação definido pela matriz coluna $\{\varepsilon\}=[\varepsilon_x \ \varepsilon_y \ \gamma_{xy}]^T$, podendo também ser descrito em função dos deslocamentos nodais através da Equação (10).

$$\{\varepsilon\} = [B]\{\delta\} \qquad (10)$$

Onde a matriz [B] do elemento, denominada Matriz Deslocamento–Deformação, permite passar dos deslocamentos nodais para as deformações dentro do elemento, de acordo com a Equação (11).

$$[B] = [Q][G] \qquad (11)$$

Sendo a matriz [Q] expressa pela equação (12) responsável por passar as derivadas parciais dos deslocamentos do interior do elemento em relação às coordenadas naturais para as deformações no interior do elemento.

$$\underset{(3x4)}{[Q]} = \frac{1}{\det(J)} \begin{bmatrix} J_{22} & -J_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -J_{21} & J_{11} \\ -J_{21} & J_{11} & J_{22} & -J_{12} \end{bmatrix} \qquad (12)$$

E a matriz [G] representada pela Equação (13) responsável por passar as coordenadas nodais para as derivadas parciais dos deslocamentos do interior do elemento em relação às coordenadas naturais.

$$[G] = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} -(1-\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & -(1+\eta) & 0 \\ -(1-\xi) & 0 & -(1+\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) & 0 \\ 0 & -(1-\eta) & 0 & (1-\eta) & 0 & (1+\eta) & 0 & -(1+\eta) \\ 0 & -(1-\xi) & 0 & -(1+\xi) & 0 & (1+\xi) & 0 & (1-\xi) \end{bmatrix} \qquad (13)$$

Para o cálculo das tensões atuantes no interior do elemento, utiliza-se a Matriz de Elasticidade [D] que depende do módulo de elasticidade e do coeficiente de Poisson do material e é responsável por converter as deformações de um ponto do elemento nas tensões em seu interior, pela Equação (14).

$$[\sigma] = [D]\{\varepsilon\} \qquad (14)$$

A Matriz de Elasticidade é modelada para o caso de Estado Duplo de Tensões (EDT), onde as tensões atuam em um plano e o corpo é tratado como uma placa fina, através da Equação (15).

$$\underset{(3x3)}{[D]} = \frac{E}{(1-\nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \qquad (15)$$

Por fim, obtêm-se a Matriz de Rigidez [K] do elemento em coordenadas cartesianas pela Equação (16), em coordenadas naturais pela Equação (17) e pela quadratura de Gauss através da Equação (18). Como mencionado anteriormente, utiliza-se o método numérico da Quadratura de Gauss para estimar a integral da Equação (17). A quadratura de Gauss obtém resultados exatos para polinômios de grau 2n−1, onde n é o número de pontos de Gauss. No exercício tratado nesse trabalho como exemplo de uso do programa desenvolvido pelos alunos, foi utilizado a quadratura de Gauss com três pontos (n=3).

$$[K] = \int_A [B]^T[D][B]t\, dx\, dy \qquad (16)$$

$$[K] = t\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}[B]^T[D][B]\,|J|\,d\xi\,d\eta \tag{17}$$

$$[K] = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} w_i w_j f(\xi_i, \eta_j) \tag{18}$$

As coordenadas dos pontos de Gauss e seus respectivos pesos w_i e w_j são apresentados na Tabela (1).

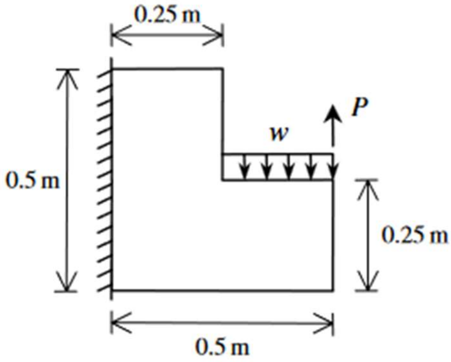
Tabela 1 – Coordenas dos pontos de Gauss e pesos

n	ξ_i, η_i		Pesos	
	Exato	Aproximado	Exato	Aproximado
3	0	0	$\frac{8}{9}$	0,888889
	$\pm\sqrt{\frac{3}{5}}$	$\pm 0{,}774597$	$\frac{5}{9}$	0,555556

3 ESTUDO DE CASO

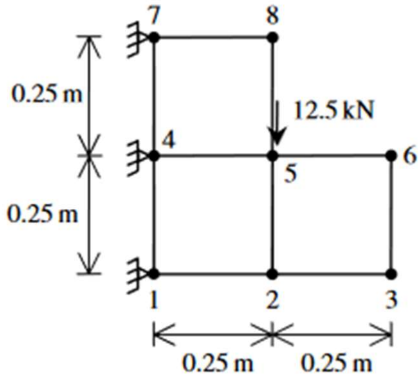
Após a apresentação da fundamentação teórica relacionada ao EDT e ao MEF, é apresentado um problema envolvendo o uso de elementos quadriláteros de 4 nós que foi resolvido por um programa parcialmente escrito por alunos da disciplina Método dos Elementos Finitos da 4ª série de engenharia Mecânica do IMT sob a supervisão dos professores da disciplina. O problema retirado de Kattan, (2008) considera uma placa fina submetida a uma carga uniformemente distribuída, conforme mostrado na Figura (19), e deseja-se obter os deslocamentos de cada nó, as forças externas reativas e as tensões atuantes no interior dos elementos. A carga distribuída *w* vale 100 kN/m, a força P é igual a 12,5 kN, a chapa tem espessura de 0,025 m, o módulo de elasticidade é 210 GPa e o coeficiente de Poisson é igual a 0,3.

Figura 19 – Problema Kattan



Fonte: Kattan (2008)

Figura 20 – Domínio discretizado



Fonte: Kattan (2008)

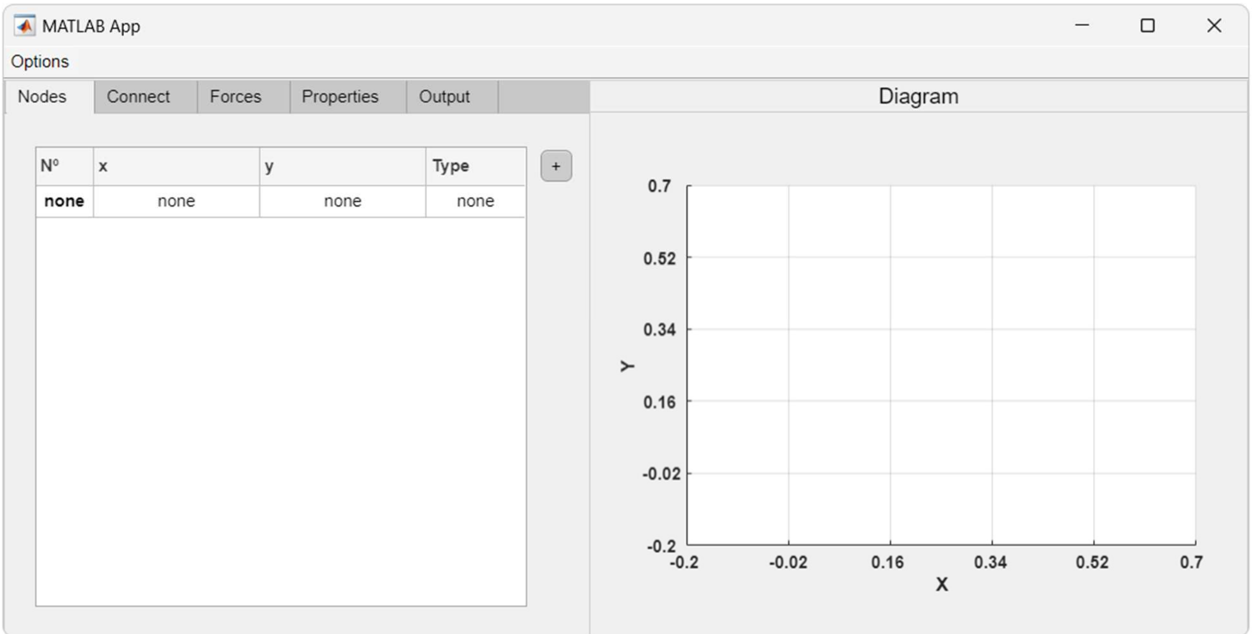
Após a interpretação do problema, o primeiro passo é a discretização do domínio. O qual foi dividido em três elementos do tipo quadrilátero de 4 nós, mas como cada nó possui 2 graus de liberdade, a placa terá 8 nós com 16 graus de liberdade (gdl), como ilustra a Figura (20). As forças devem ser aplicadas nos nós, portanto, a carga distribuída uniforme terá metade da força resultante aplicada em cada um dos nós do trecho. Os apoios também serão impostos nos gdl da placa. A fixação do tipo engastamento utilizada no modelo real será substituída por apoios fixos nos nós correspondentes, onde os gdl desses nós serão impedidos de se deslocarem. O arranjo dos elementos foi definido pela conectividade nodal, como mostra a Tabela (2).

Tabela 2 – Tabela de conectividade nodal.

Número do elemento	Nó i	Nó j	Nó m	Nó n
1	1	2	5	4
2	2	3	6	5
3	4	5	8	7

O programa foi desenvolvido no software MATLAB® usando o ambiente de desenvolvimento interativo *App Designer*, onde é aberta uma janela apontada pela Figura (21).

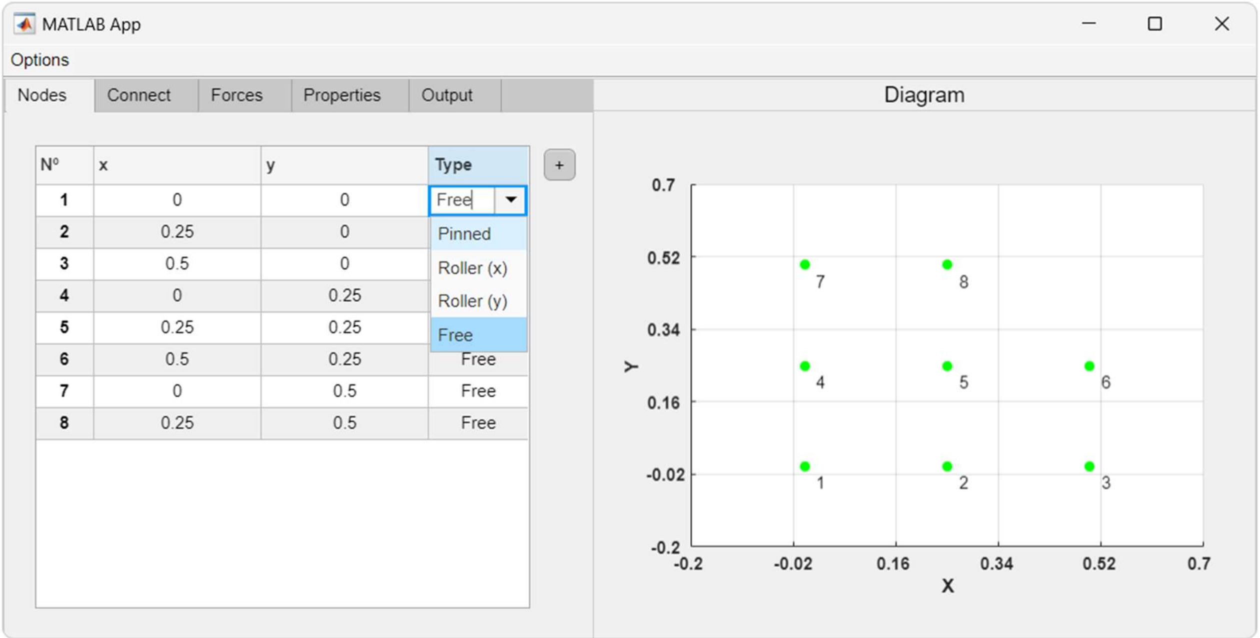
Figura 21 – Janela inicial do programa escrito.



Fonte: próprios autores

Nesta interface, denotada pela aba "Nodes", pode-se inserir novos nós para a estrutura que se deseja calcular, junto as suas coordenadas (x e y) e o tipo de restrição dos graus de liberdade para os apoios da estrutura. Foram disponibilizadas as opções: "Pinned" (apoio fixo); "Roller (x)" (rolete com reação na direção do eixo x); "Roller (y)" (rolete com reação na direção do eixo y); "Free" (livre, ou seja, restrições nulas). A seleção dessas condições especificamente para o problema do exemplo é mostrada na Figura (22).

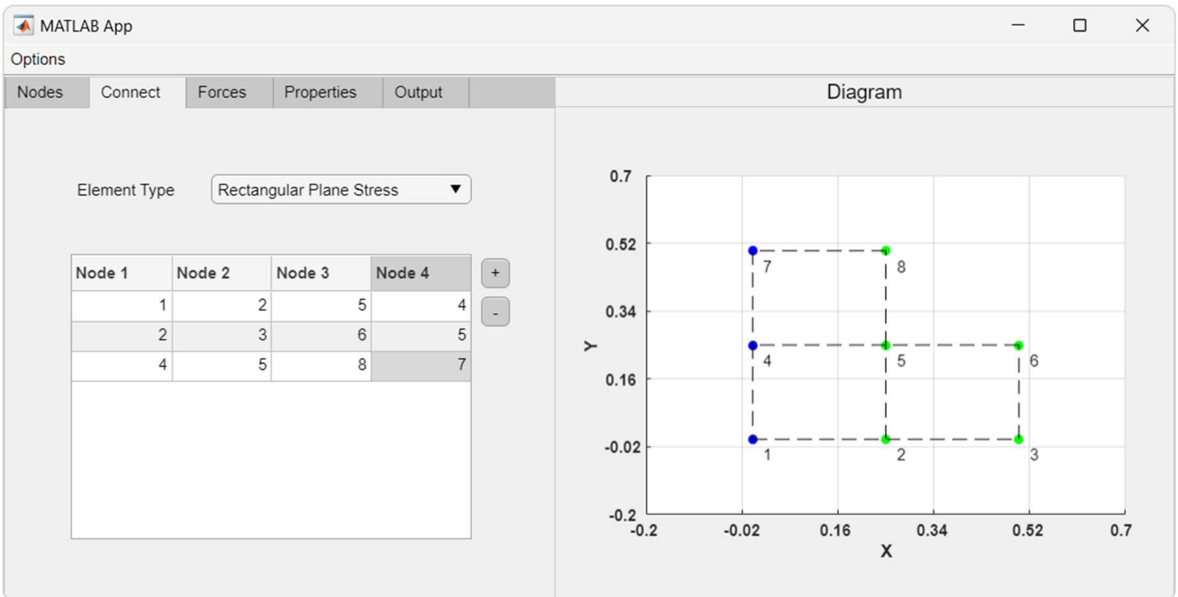
Figura 22 – Entrada dos nós e especificação das condições de fixação da estrutura.



Fonte: próprios autores

A próxima etapa é a definição da conectividade nodal, representada na Figura (23). Note que há também a seleção do tipo de elemento – pois a quantidade de nós para cada tipo de elemento pode ser diferente (até o momento foram implementados neste programa o triângulo de três nós e o quadrilátero de 4 nós).

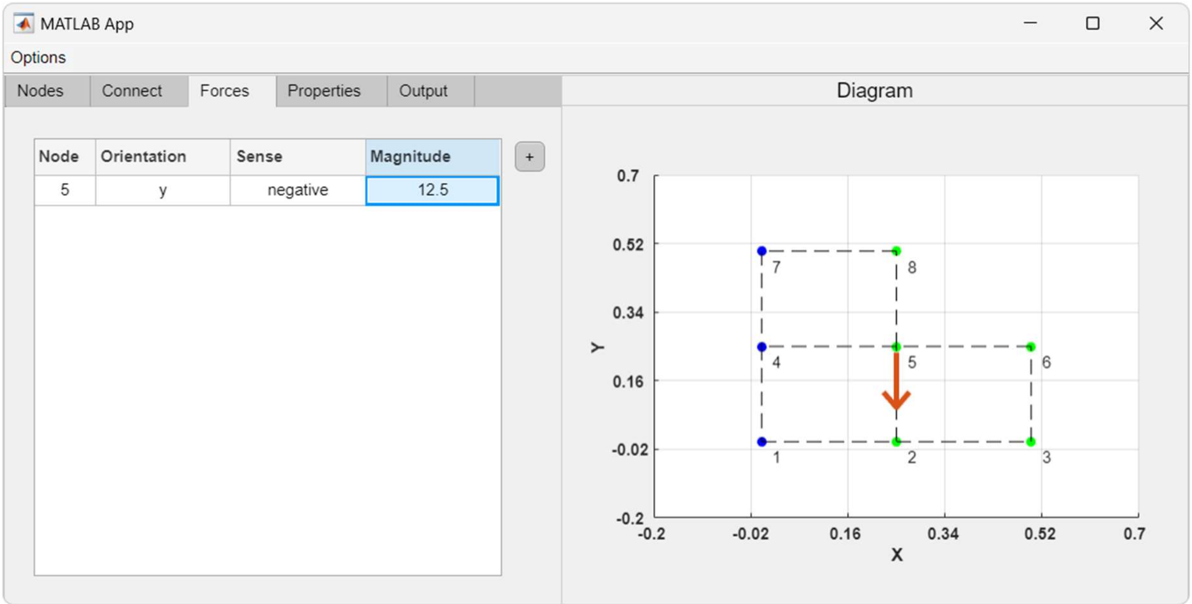
Figura 23 – Conectividade nodal e definição dos elementos.



Fonte: próprios autores

Na sequência, tem-se a caracterização das forças externas atuantes – Figura (24), onde há a seleção do nó em que a força atua, e é definida a sua orientação e a sua magnitude, conforme o grau de liberdade.

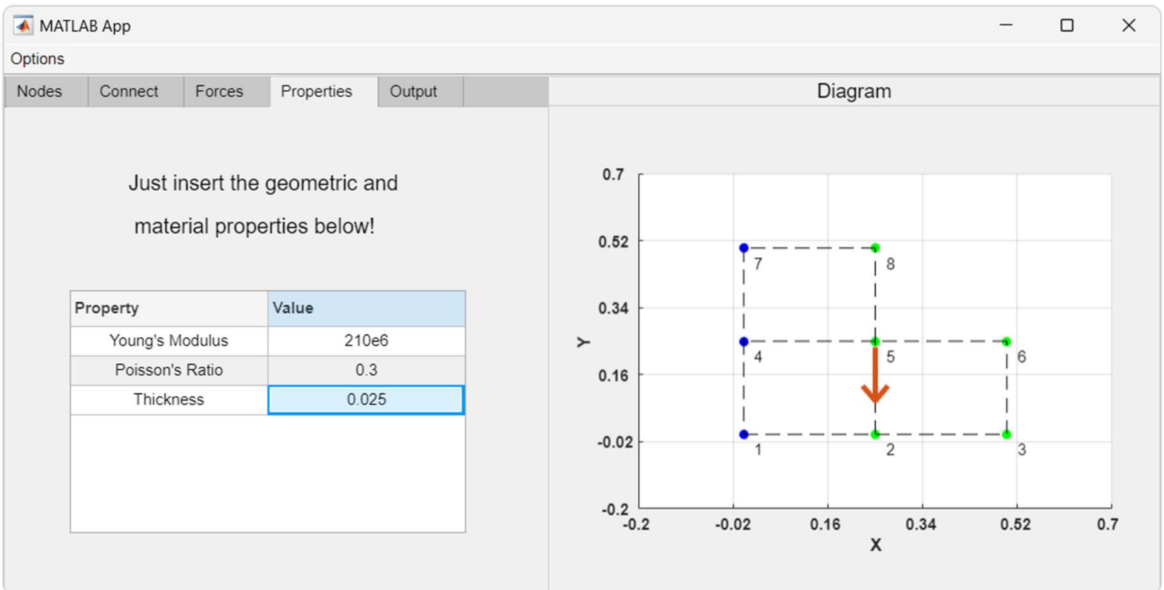
Figura 24 – Caracterização das forças atuantes.



Fonte: próprios autores

Na sequência é necessária a definição das propriedades do material – módulo de elasticidade (ou módulo de Young) e o coeficiente de Poisson, assim como a espessura da geometria (por se tratar de uma chapa fina), como mostrado na Figura 25.

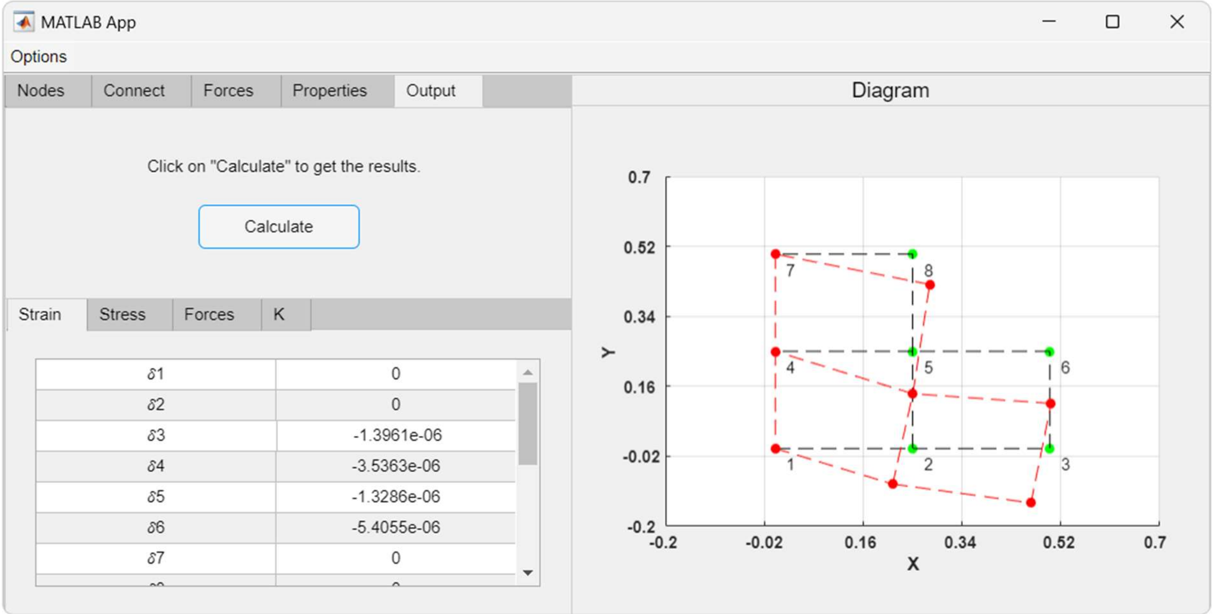
Figura 25 – Propriedades geométricas e do material da estrutura.



Fonte: próprios autores

Por fim, tem-se o cálculo e a apresentação dos resultados, além da representação esquemática da deformação da estrutura sobrepondo a mesma geometria sem deformação, como mostrado na Figura 26. Nas abas, no canto inferior esquerdo, são apresentados respectivamente: os deslocamentos de todos os graus de liberdade; as tensões em cada elemento; as forças de reação e atuantes; e a Matriz de Rigidez [K] da estrutura. Note que as forças e deformações são dadas em relação aos graus de liberdade – sendo: gdl na direção x, o dobro do número do nó menos um; gdl na direção y, o dobro do número do nó.

Figura 26 – Cálculo e apresentação dos resultados e da estrutura deformada.



Fonte: próprios autores

Observe que a estrutura deformada é meramente ilustrativa (representada em vermelho na Figura (26)) – pois as deformações no caso são mínimas. O programa escrito reconhece as distâncias entre os nós e define uma escala a partir de uma porcentagem desses intervalos de deformações para melhor apresentar o comportamento da estrutura deformada.

3.1 RESULTADOS OBTIDOS

A Tabela (3) apresenta os resultados de deslocamentos nodais e forças externas calculadas em todos os graus de liberdade da estrutura no programa desenvolvido em comparação com os resultados apresentados em Kattan (2008). A Tabela (3a) mostra este comparativo para os deslocamentos, em metros, e a Tabela (3b) apresenta os resultados das forças, em kN. Observe que a diferença entre os valores é mínima, ficando em todos os casos inferior a 0,5%.

Tabela 3 – Tabela dos deslocamentos e forças calculadas em todos os gdl.

(a)

Deslocamento nodal (m)	
Software MEF	Kattan
0	0
0	0
-1,3261E-06	-1,329E-06
-3,5363E-06	3,536E-06
-1,3286E-06	-1,329E-06
-5,4055E-06	-5,406E-06
0	0
0	0
1,8083E-08	1,80E-08
-4,2163E-06	-4,216E-06
8,5585E-08	8,6E-08
-5,1755E-06	-5,176E-06
0	0
0	0
1,2021E-06	1,202E-06
-3,0103E-06	-3,010E-06

(b)

Forças externas (kN)	
Software MEF	Kattan
6,3394	6,3394
4,3354	4,3354
2,09E-17	0
1,01E-15	0
4,60E-16	0
2,27E-16	0
-0,2988	-0,2988
3,6296	3,6296
-1,08E-15	0
-12,5	-12,5
9,09E-16	0
9,07E-16	0
-6,1006	-6,1006
4,535	4,535
-5,10E-16	0
2,63E-15	0

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa desenvolvido por alunos da disciplina Método dos Elementos Finitos da 4ª série de Engenharia Mecânica se mostrou uma ferramenta precisa em termos de resultados quando comparado com os resultados calculados e apresentados em Kattan, (2008), apesar da quantidade baixa de elementos utilizados na malha. O programa também apresentou uma interface intuitiva e fácil de operar, mesmo para aquele usuário que não domina completamente os fundamentos teóricos. E por fim, a apresentação dos resultados finais e a representação gráfica da deformação da estrutura sobrepondo a estrutura sem deformação tornam o entendimento do fenômeno ainda mais significativo proporcionando uma experiencia completa para o aluno.

De maneira geral, observa-se que os alunos matriculados nas disciplinas mencionadas têm demonstrado uma resposta muito positiva em termos de aprendizado na medida em que verificam que todos os aspectos conceituais apresentados em sala de aula são efetivamente empregados nas simulações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Mauá de Tecnologia pelo suporte às atividades de ensino e pelo suporte, incentivo e capacitação para realizar ações didáticas inovadoras nas disciplinas.

REFERÊNCIAS

CHANDRUPATLA, T. R., BELEGUNDU, A. D. **Introduction to Finite Elements in Engineering.** Pearson, 2012. 518 p.

FILHO, A. A. **Elementos finitos: a base da tecnologia CAE**. 5. ed. São Paulo, SP: Érica, 2007. 292 p. ISBN 9788571947412.
KATTAN, P. **Matlab guide to finite elements – An interactive approach**. Springer, 2008. 433 p.

MEC – Ministério da Educação e Cultura. Conselho Nacional de Educação. (2019) Câmara de Educação Superior. Diretrizes Curriculares para os cursos de engenharia. Resolução CNE/CES nº 2.

PROENÇA, S.P.B. **Uma experiência de ensino do método dos elementos finitos para engenharia**. Mecánica Computacional Vol XXX, págs. 2353-2361. Rosario, Argentina, 1-4 Noviembre 2011.

SPENCER, A.J.M. **Continuum Mechanics**. Dover Publications, Inc, 1980.

ZIENKIEWICZ, O.C., and Morgan, K. **Finite Elements and Approximation**. John Wiley & Sons,1983.

USE OF ACTIVE STRATEGIES IN THE TEACHING OF FINITE ELEMENTS METHOD IN MECHANICAL ENGINEERING COURSE: CASE STUDY

Abstract: *This article describes the methodology adopted in the teaching of the Finite Element Method (FEM) through a practical approach focused on the student, inserted in the menu of subjects related to the theme "Mechanics of Solids" offered for the undergraduate course in Mechanical Engineering from the Mauá School of Engineering. The subjects are presented in theoretical and practical classes. The subjects have didactic support material made up of books, class notes and tutorials designed for practical computer classes. In the course "Finite Element Method" the theme is presented based on the Principle of Total Potential Energy for structural problems, limited, in this work, to plane structures in a linear behavior regime. The finite element technique is then introduced with the aim of generating approximate solutions. Aspects of discretization and approximation quality are discussed. The practical classes are initially carried out through the MATLAB® program, where students are protagonists of learning by performing programming and calculating the proposed structures. The students enrolled in the mentioned subject have shown a very positive response in terms of learning, as they verify that all the conceptual aspects presented in the classroom are effectively used in the simulations.*

Keywords: *Problem-based learning. Finite element method. Computational simulation. Programming.*