



## Plano de Ensino para o Ano Letivo de 2021

IDENTIFICAÇÃO		
Disciplina: Método dos Elementos Finitos		Código da Disciplina: EMC216
Course: Método dos Elementos Finitos		
Materia: Método de elementos finitos		
Periodicidade: Anual	Carga horária total: 80	Carga horária semanal: 00 - 00 - 04
Curso/Habilitação/Ênfase:	Série:	Período:
Engenharia Mecânica	4	Diurno
Engenharia Mecânica	4	Noturno
Engenharia Mecânica	4	Noturno
Professor Responsável:	Titulação - Graduação	Pós-Graduação
Marcelo Otavio dos Santos	Engenheiro Mecânico	Doutor
Professores:	Titulação - Graduação	Pós-Graduação
Fernando Malvezzi	Engenheiro Mecânico	Doutor
Gelson Freitas Miori	Engenheiro Mecânico	Doutor
Konstantinos Dimitriou Stavropoulos	Engenheiro Mecânico	Doutor
Marcelo Otavio dos Santos	Engenheiro Mecânico	Doutor
Renato Maia Matarazzo Orsino	Engenheiro Mecânico	Doutor
MODALIDADE DE ENSINO		
Presencial: 100%		
Mediada por tecnologia: 0%		
* Em qualquer modalidade a entrega de atividades e trabalhos deve ser realizada segundo orientações do professor da disciplina.		
ATIVIDADES DE EXTENSÃO		
A DISCIPLINA NÃO CONTEMPLA ATIVIDADES DE EXTENSÃO.		
EMENTA		
Fundamentos do Método dos Elementos Finitos para estruturas. Método Direto para sistemas discretos e Métodos Variacional e dos Resíduos Ponderados para sistemas contínuos. Princípio dos Trabalhos Virtuais e Princípio da Energia Potencial Total Mínima. Equações da Teoria da Elasticidade no Plano. Relações Constitutivas para Material Elástico Isotrópico. Desenvolvimento da matriz de rigidez e do vetor força para diversos elementos uni, bi e tri-dimensionais. Funções de forma e formulação isoparamétrica. Integração numérica pela quadratura de Gauss. Métodos h e p para obtenção de resultados mais precisos. Elaboração de programas simples utilizando uma linguagem de programação. Uso de software comercial para solução de estudos de caso. Aplicação de condições de contorno e solução de sistemas. Técnicas numéricas de solução para problemas de estática, dinâmica, térmico e de autovalor. Critérios de convergência. Validação experimental através de extensometria elétrica. Projeto Transdisciplinar: modelagem numérica através de software comercial.		



### SYLLABUS

Fundamentals of the Finite Element Method for Structures. Direct Method for discrete systems and Variable Methods and Weighted Residues for continuous systems. Principle of Virtual Work and Principle of Minimum Total Potential Energy. Equations of Elasticity Theory in the Plane. Constitutive Relationships for Isotropic Elastic Material. Development of the stiffness matrix and the force vector for uni, bi and tri-dimensional elements. Functions of form and isoparametric formulation. Numerical integration by the Gaussian quadrature. H and p methods for obtaining more precise results. Development of simple programs using a programming language. Use of commercial software for case study solution. Application of boundary conditions and systems solution. Numerical solution techniques for static, dynamic, thermal and eigenvalue problems. Convergence criteria. Experimental validation through strain gages. Transdisciplinary project: numerical modeling through commercial software.

### TEMARIO

Fundamentos del Método de los Elementos Finitos para estructuras. Método Directo para sistemas discretos y Métodos Variacional y de los Residuos Ponderados para sistemas continuos. Principio de los Trabajos Virtuales y Principio de la Energía Potencial Total Mínima. Ecuaciones de la Teoría de la Elasticidad en el Plan. Relaciones Constitutivas para Material Elástico Isotrópico. Desarrollo de la matriz de rigidez y del vector fuerza para diversos elementos uni, bi y tri dimensionales. Funciones de forma y formulación isoparamétrica. Integración numérica por la cuadratura de Gauss. Métodos h y p para obtener resultados más precisos. Elaboración de programas simples utilizando un lenguaje de programación. Uso de software comercial para solución de estudios de caso. Aplicación de condiciones de contorno y solución de sistemas. Técnicas numéricas de solución para problemas de estática, dinámica, térmica y de autovalor. Criterios de convergencia. Validación experimental a través de extensometría eléctrica. Proyecto Transdisciplinar: modelado numérico a través de software comercial.

### CONHECIMENTOS PRÉVIOS NECESSÁRIOS PARA O ACOMPANHAMENTO DA DISCIPLINA

- Desenho Técnico Mecânico
- Resistência dos Materiais
- Teoria das Estruturas
- Construção de Máquinas
- Termodinâmica
- Materiais de Construção Mecânica



### COMPETÊNCIAS DESENVOLVIDAS NA DISCIPLINA

#### COMPETÊNCIA 1:

1. Dominar o ciclo completo de investigação dos aspectos analítico, numérico e experimental de um mesmo fenômeno, aprendendo a conciliar as diferenças encontradas no conhecimento interdisciplinar coordenado entre as disciplinas da área de mecânica dos sólidos. 2. Conceber modelos numéricos e simulações para prever resultados de projetos inovadores e acelerar o ciclo de desenvolvimento de produtos no ambiente da indústria.

### OBJETIVOS - Conhecimentos, Habilidades, e Atitudes

#### Conhecimentos:

- C1 - Fundamentos do Método dos Elementos Finitos para o dimensionamento de estruturas e componentes.
- C2 - Relações Constitutivas para Material Elástico Isotrópico.
- C3 - Matriz de Rigidez e Vetor Força para diversos elementos uni, bi e tri-dimensionais.
- C4 - Operação de software comercial de CAE (Engenharia assistida por computador)

#### Habilidades:

- H1 - Integração dos diversos modelos matemáticos da Mecânica dos Sólidos.
- H2 - Desenvolver a sensibilidade e o espírito crítico ao analisar o comportamento de uma estrutura.
- H3 - Associar os modelos estruturais às estruturas reais na Engenharia.
- H4 - Compreender o método de cálculo estrutural utilizado computacionalmente.
- H5 - Trabalhar em equipe.
- H6 - Análises estruturais: lineares e não lineares, térmicas, estáticas e dinâmicas, regime estacionário e transiente.

#### Atitudes:

- A1 - Ter visão sistêmica e interdisciplinar na solução de problemas de engenharia.
- A2 - Análise crítica se os objetivos da modelagem foram atingidos.
- A3 - Responsabilidade pela segurança de estruturas e componentes projetados.

### ESTRATÉGIAS ATIVAS PARA APRENDIZAGEM - EAA

Aulas de Laboratório - Sim

### LISTA DE ESTRATÉGIAS ATIVAS PARA APRENDIZAGEM

- Peer Instruction (Ensino por pares)
- Design Thinking
- Project Based Learning
- Problem Based Learning



METODOLOGIA DIDÁTICA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de técnicas de aprendizagem ativa em sala de aula.</li> <li>- Aula expositiva com apoio de recurso áudio-visual.</li> <li>- Elaboração de programas simples para realização de cálculos estruturais.</li> <li>- Uso de software comercial de simulação CAE em laboratório de informática.</li> <li>- Uso do Laboratório de Mecânica dos Sólidos para realização de experimentos práticos.</li> <li>- Projeto Transdisciplinar.</li> </ul>
INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO
NENHUM INSTRUMENTO DE AVALIACAO FOI ADICIONADA.
AVALIAÇÃO (conforme Resolução RN CEPE 16/2014) e CRITÉRIOS DE APROVAÇÃO
<p>Disciplina anual, com trabalhos.</p> <p>Pesos dos trabalhos:</p> <p><math>k_1: 1,0</math> <math>k_2: 1,0</math> <math>k_3: 1,0</math> <math>k_4: 1,0</math></p>
INFORMAÇÕES SOBRE INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO
CONTRIBUIÇÃO DA DISCIPLINA
<p>Após a realização da disciplina, o aluno deverá ter adquirido a capacidade de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizar uma ferramenta moderna de projeto assistido por computador CAE.</li> <li>- Aplicar a técnica do Método dos Elementos Finitos para solução de problemas de Engenharia, com segurança e responsabilidade.</li> <li>- Modelagem de problemas multifísicos.</li> <li>- Integração das diversas áreas da Engenharia visando o dimensionamento correto de componentes e estruturas.</li> <li>- Estudo de caso utilizando simulação numérica para análise termomecânica de um vaso de pressão segundo a norma ASME.</li> <li>- Instrumentação de componentes e estruturas através de strain gages, visando a validação dos resultados obtidos numericamente.</li> </ul>
BIBLIOGRAFIA
<p><b>Bibliografia Básica:</b></p> <p>ALVES FILHO, Avelino. Elementos finitos: a base da tecnologia CAE. 5. ed. São Paulo, SP: Érica, 2007. 292 p.</p> <p>FISH, Jacob; BELYTSCHKO, Ted. Um primeiro curso em elementos finitos. KOURY, Ricardo Nicolau Nassar (Trad.), MACHADO, Luiz (Trad.). Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009. 241 p.</p> <p>KIM, Nam-Ho; SANKAR, Bhavani V. Introdução à análise e ao projeto em elementos finitos. KURBAN, Amir Elias Abdalla (Trad.). Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2011. 353 p.</p>



LOGAN, Daryl L. A first course in the finite element method. Boston: PWS, 1992. 662 p.

#### **Bibliografia Complementar:**

BATHE, Klaus-Jürgen. Finite element procedures. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996. 1037 p.

BUCHANAN, George R. Schaum's outline of theory and problems of finite element analysis. New York: McGraw-Hill, 1995. 264 p.

KWON, Young W; BANG, Hyochoong. The finite element method using MATLAB. 2. ed. Boca Raton: CRC, 2000. 607 p. (CRC Mechanical Engineering Series).

MOAVENI, Saeed. Finite element analysis: theory and application with ANSYS. New Jersey: Prentice Hall, 1999. 527 p.

#### **SOFTWARES NECESSÁRIOS PARA A DISCIPLINA**

- Matlab/Octave
- ANSYS Workbench
- SpaceClaim
- MSC Adams
- Pacote Office

#### **INFORMAÇÕES SOBRE PROVAS E TRABALHOS**

A disciplina é dividida em duas frentes: Teoria e Laboratório.

- k1 corresponde a média de notas dos trabalhos da Teoria no 1o Bimestre.
- k2 corresponde a média de notas dos trabalhos da Teoria no 2o Bimestre.
- k3 corresponde a média de notas dos trabalhos do Laboratório no 3o Bimestre.
- k4 corresponde a média de notas dos trabalhos do Laboratório no 4o Bimestre.

**OUTRAS INFORMAÇÕES**

Os trabalhos poderão ser realizados individualmente ou em grupo, conforme será definido pelo professor para cada caso.

A sua configuração poderá variar, conforme orientação do professor, obedecendo aos seguintes formatos:

- Solução de um problema de engenharia usando o software de CAE.
- Desenvolvimento e implementação de programas de simulação para elementos 1D, 2D e 3D.
- Relatórios de simulação MEF.
- Aplicação da simulação em estudo de caso de engenharia - projeto.
- Relatórios de experimentos realizados no Laboratório de Mecânica dos Sólidos.



## APROVAÇÕES

Prof.(a) Marcelo Otavio dos Santos  
Responsável pela Disciplina

Prof.(a) Susana Marraccini Giampietri Lebrao  
Coordenadora do Curso de Engenharia Mecânica

Núcleo Docente Estruturante (NDE)

Data de Aprovação:



PROGRAMA DA DISCIPLINA		
Nº da semana	Conteúdo	EAA
1 L	Semana dos calouros	0
2 L	Apresentação. Sistemas Discretos e Contínuos. Equação da Teoria da Elasticidade no Plano. Relações Constitutivas para Material Elástico Isotrópico.	1% a 10%
3 L	Métodos Variacional e dos Resíduos Ponderados. Princípio da Energia Potencial Total Mínima. Matriz de Rigidez.	1% a 10%
4 L	Elemento Triangular com 3 Nós. Teoria e Implementação no MatLab/Octave.	61% a 90%
5 L	Elemento Triangular com 3 Nós. MatLab/Octave. Exemplos.	61% a 90%
6 L	Elemento Triangular com 3 Nós. MatLab/Octave. Exemplos.	61% a 90%
7 L	Elemento Quadrilátero 4 Nós. Funções de Forma e Formulação Isoparamétrica.	11% a 40%
8 L	Integração Numérica pela Quadratura de Gauss. Implementação no MatLab/Octave. Problemas na malha. Métodos h e p para obtenção de resultados mais precisos.	11% a 40%
9 L	Atividade K1 - Teoria	91% a 100%
10 L	Semana de Provas P1	0
11 L	Elemento Quadrilátero 8 Nós. Teoria. Implementação no MatLab/Octave.	41% a 60%
12 L	Elemento Quadrilátero 8 Nós. Exercícios.	41% a 60%
13 L	Elemento Tetraédrico 4 Nós. Teoria.	11% a 40%
14 L	Elemento Tetraédrico 4 Nós. Teoria. Exercícios com MatLab/Octave.	61% a 90%
15 L	Atividade K2 - Teoria	91% a 100%
16 L	Semana de Provas P2	0
17 L	Semana de Provas P2	0
18 L	Atendimento	0
19 L	Atendimento	0
20 L	Semana de provas PS1	0
21 L	Engenharia Assistida por Computador (CAE). Conceitos e Definições. Solução de problema exemplo no software comercial ANSYS MECHANICAL.	11% a 40%
22 L	Apresentação do software ANSYS MECHANICAL. Funcionalidades e recursos do software. Problema 1: Treliça 3D (Elemento 1D - barra).	61% a 90%
23 L	Problema 2: Viga engastada (Elemento 1D - viga). Comparação dos métodos de solução: analítico x numérico.	61% a 90%
24 L	Problema 3: Pórtico 3D (Elemento 1D - viga). Diagramas de esforços internos solicitantes (DEIS). Verificação à Flambagem.	61% a 90%
25 L	Problema 4: Estrutura 1D. Montagem do relatório de simulação MEF.	61% a 90%
26 L	Atividade K3 - Software	91% a 100%





27 L	Problema 5: Chapa com concentrador de tensões (Elemento 2D). Elemento triangular e quadrilátero. Refino de malha. Convergência de resultados. Estrutura simétrica.	61% a 90%
28 L	Problema 6a: Pinhão-cremalheira (elemento 2D). Problema 6b: Latasob pressão (elemento de casca). Qualidade da malha. Critérios de convergência. Simetria.	61% a 90%
29 L	Problema 7: Ponta de eixo (elemento 3D). Qualidade da malha. Critérios de convergência. Tipos de contato. Não linearidade.	61% a 90%
30 L	Problema 8: Carcaça de bomba (elemento 3D). Análise termoestrutural em regime estacionário. Estudo de caso: vaso de pressão.	61% a 90%
31 L	Problema 9: Dispositivo de máquina-ferramenta. Análise termo-estrutural transiente.	61% a 90%
32 L	Problema 10: Mecanismo biela-manivela - dinâmica de corpo rígido. Análise estrutural dos componentes.	61% a 90%
33 L	Extensometria elétrica. Conceitos e definições. Experimento 1 (parte 1): seleção do strain gage (SG)/ preparação da superfície/colagem do SG/soldagem dos fios.	91% a 100%
34 L	Extensometria elétrica. Experimento 1 (parte 2): carregamento da estrutura / cálculos comparativos / simulação no ANSYS / finalização do relatório.	91% a 100%
35 L	Atividade K4 - Software	91% a 100%
36 L	Semana de Provas P4	0
37 L	Semana de Provas P4	0
38 L	Atendimento	0
39 L	Atendimento	0
40 L	Semana de Provas PS2	0
41 L	Atendimento	0
Legenda: T = Teoria, E = Exercício, L = Laboratório		