

## Índice

	Pág.
1 - Introdução	1.1
2 - Elementos finitos de barra articulada. Conceitos básicos	2.1
2.1 - Introdução	2.1
2.2 - Barra biarticulada submetida a esforços axiais	2.1
2.3 - Barra biarticulada de secção constante. Discretização num elemento linear	2.4
2.4 - Barra biarticulada de secção constante. Discretização em dois elementos lineares.	2.11
2.5 - Generalização da solução com vários elementos de dois nós.	2.19
2.6 - Exemplos de aplicação	2.20
2.7 Resumo das etapas de análise de uma estrutura segundo o método dos elementos finitos	2.35
3- Elementos de barra biarticulada mais avançados e condições para convergência da solução	3.1
3.1 - Introdução	3.1
3.2 - Elementos unidimensionais de classe $C_0$ . Elementos Lagrangeanos	3.1
3.3 - Formulação isoparamétrica e integração numérica	3.6
3.3.1 - Conceito de formulação isoparamétrica	3.6
3.3.2- Formulação isoparamétrica do elemento de três nós.	3.8
3.3.3 Integração Numérica	3.12
3.3.4 Etapas para o cálculo da matriz de rigidez e do vector das forças nodais equivalentes de um elemento isoparamétrico de barra de $n$ nós.	3.18
3.4 – Fluxograma de um programa de elementos finitos	3.21
3.5 - Selecção do tipo de elemento	3.23
3.6 - Requisitos para a convergência da solução	3.23
3.6.1 - Condição de continuidade	3.23
3.6.2 - Condição de derivabilidade	3.23
3.6.3 - Condição de integrabilidade	3.24
3.7 - Outros requisitos para os elementos finitos	3.25
3.7.1 - Condições de compatibilidade	3.25
3.7.2 - Condição de polinómio completo	3.25
3.7.3 - Condição de estabilidade	3.26
3.7.4 - Condição de invariância	3.26
3.8 - Considerações sobre compatibilidade e equilíbrio da solução	3.26
3.9 - Condições para convergência dos elementos isoparamétricos	3.27
3.10 - Tipos de erros na solução por elementos finitos	3.28
3.11 - Pontos óptimos para o cálculo das tensões/extensões	3.28
3.12 – Exercícios resolvidos	3.34
3.13 – Exercícios para resolver	3.35
4 - Pórticos planos	4.1
4.1 - Introdução	4.1
4.2 - Elemento de viga de Euler-Bernoulli com deformação axial	4.2
4.2.1 - Campo de deslocamentos	4.3

4.2.2 - Extensões	4.3
4.2.3 - Tensões e esforços	4.4
4.2.4 - Expressão do princípio dos trabalhos virtuais	4.6
4.2.5 - Discretização em elementos finitos de dois nós	4.8
4.2.6 – Exemplos de aplicação	4.16
4.2.7 – Exercícios resolvidos	4.21
4.2.8 – Exercícios para resolver	4.25
4.3 - Elemento de viga de Timoshenko	4.26
4.3.1 - Campo de deslocamentos	4.26
4.3.2 - Campo de extensões	4.26
4.3.3 - Tensões	4.28
4.3.4 - Lei constitutiva	4.28
4.3.5 - Esforços	4.29
4.3.6 - Expressão do princípio dos trabalhos virtuais	4.31
4.3.7 - Elemento finito de dois nós.	4.33
4.3.7.1 - Deslocamentos	4.33
4.3.7.2 - Matrizes de deformação	4.34
4.3.7.3 - Matriz de rigidez	4.36
4.3.8 - Efeito de "Locking"	4.38
4.3.9 – Exercícios resolvidos	4.44
4.3.10 – Exercícios para resolver	4.57
5 - Elemento de Pórtico 3D de Timoshenko	5.1
5.1 - Introdução	5.1
5.2 - Referenciais	5.1
5.2.1 - Sistema coordenado global - $g_i(g_1, g_2, g_3)$	5.1
5.2.2 - Sistema coordenado normalizado - $s_1$	5.2
5.2.3 - Sistema coordenado local - $l_i(l_1, l_2, l_3)$	5.2
5.3 - Campo de deslocamentos	5.6
5.4 - - Campo de deformações	5.7
5.5 - Tensões	5.9
5.6 - Lei de Hooke	5.9
5.7 - Esforços	5.10
5.8 - Trabalho interno de deformação	5.14
5.9 - Formulação do elemento de pórtico 3D de Timoshenko por elementos finitos isoparamétricos de classe $C_0$	5.15
5.9.1 - Definição da geometria	5.15
5.9.2 - Deslocamentos	5.15
5.9.3 - Matrizes de deformação	5.16
5.9.4 - Matriz de rigidez	5.21
5.9.5 - Vector solitação	5.23
5.9.5.1 - Introdução	5.23
5.9.5.2 - Forças aplicadas em pontos nodais da estrutura	5.24
5.9.5.3 Forças aplicadas em pontos do interior de elementos	5.24
5.9.5.4 - Forças de volume	5.26
5.9.5.5 - Forças distribuídas por unidade de comprimento	5.27
5.9.5.6 - Assentamentos de apoio	5.30
6 - Referências	6.1