

Análise e dimensionamento de elementos de membrana em concreto estrutural

1. Introdução	1
1.1 Desenvolvimento histórico dos modelos de treliça	3
1.2 Organização do trabalho	9
2. Análise de tensões em elementos de membrana	13
2.1 Estado plano de tensões	13
2.2 Tensões em planos inclinados (equações de transformações de tensões)	15
2.3 Determinação das tensões normais principais	18
2.4 Determinação das tensões máximas de cisalhamento	21
2.5 Tensões em função das tensões principais	23
2.6 Círculo de Mohr para tensão plana	23
2.7 Exemplo de aplicação	28
3. Análise de deformações em elementos de membrana	33
3.1 Deformação plana versus tensão plana	33
3.2 Equações de transformação para deformação plana	35
3.3 Deformações principais	46
3.4 Deformações em função das deformações principais	44
3.5 Círculo de Mohr para deformação plana	47
3.6 Exemplo de aplicação	49
4. Equilíbrio de elementos de membrana em concreto armado	55
4.1 Introdução	55
4.2 Equilíbrio de elementos sujeitos a cisalhamento puro	59
4.3 Orientação da fissuração diagonal	66
4.4 Armaduras mínimas para elemento sujeito a cisalhamento puro	69
4.5 Elementos de membrana sujeitos a forças normais e forças cortantes	70
4.6 Determinação das armaduras e limite para tensão máxima de compressão	83
4.7 Armaduras mínimas para elementos de membrana	79
4.8 Círculo de Mohr para elementos de membrana em concreto armado	87
4.9 Exemplos de dimensionamento	89
5. Método dos Elementos Finitos (MEF)	103
5.1 Histórico	103
5.2 Fundamentos básicos do Método dos Elementos Finitos	108
5.3 O que dizem os códigos normativos sobre o método?	103
5.4 Análise de estruturas de concreto utilizando o Método dos Elementos Finitos	110
5.4.1 Modelo de fissuração distribuída	113
5.4.1.1 Modelos total <i>strain</i>	116
5.4.1.2 Modelos incrementais ou plásticos	122
5.4.2 Modelagem das armaduras	123
5.4.3 Modelagem do concreto armado	125

5.4.4 Aspectos complementares	126
5.5. Verificação da segurança utilizando o MEF	129
5.6 Exemplo de dimensionamento utilizando o Método dos Elementos Finitos	131
5.7 Exemplo de análise não-linear de elementos de membrana	136
5.7.1 Descrição das principais dificuldades	136
5.7.2 Descrição dos resultados experimentais de Xie (2009)	138
5.7.3 Descrição das simulações computacionais utilizando Atena	142
6. Resultados experimentais de elementos de membrana	149
6.1 Abrandamento da resistência à compressão do concreto	149
6.2 Obtenção da relação constitutiva com abrandamento	151
6.3 Principais ensaios experimentais realizados	153
7. Compression Field Theory (CFT)	157
7.1 Introdução	157
7.2 Conceitos gerais	159
7.3 Equações de equilíbrio	162
7.4 Equação adicional (compatibilidade de deformações)	165
7.5 Abrandamento da resistência à compressão das escoras	166
7.6 Parcelas de contribuição do concreto e do aço para força cortante	167
7.7 Exemplo de cálculo para viga protendida	170
8. Mohr Compatibility Truss Model (MCTM)	177
8.1 Introdução	177
8.2 Equações de equilíbrio e de compatibilidade	177
8.3 Variações do <i>Mohr Compatibility Truss Model</i>	178
8.4 Análise utilizando o <i>Mohr Compatibility Truss Model</i>	180
8.5 Dimensionamento utilizando o <i>Mohr Compatibility Truss Model</i>	182
8.6 Exemplo de análise	183
9. Modified Compression Field Theory (MCFT)	187
9.1 Introdução	187
9.2 Equações de compatibilidade	189
9.3 Equações de equilíbrio	191
9.4 Relações constitutivas	193
9.5 Transmissão de cisalhamento entre fissuras	195
9.6 Descrição do procedimento “crack check” no MCFT	200
9.7 Emprego do MCFT acoplado ao Método da Rigidez Secante	207
9.8 Fluxograma de cálculo para elementos de membrana	210
10. Softened Truss Model (STM)	215
10.1 Introdução	215
10.2 Equações de equilíbrio e compatibilidade	215
10.3 Equações constitutivas	216
10.4 Solução para o caso de aumento proporcional de carregamento	219
10.5 Relações complementares de compatibilidade	222
10.6 Procedimento iterativo de solução	224

11. Referências bibliográficas	227
Apêndice A: Código MATLAB para Dimensionamento de Elementos de Membrana	237
Apêndice B: Código MATLAB para Análise com a Compression Field Theory	241
Apêndice C: Código MATLAB para o Método Secante	249
Apêndice D: Dedução das Equações da Modified Compression Field Theory	251
Apêndice E: Código MATLAB para Análise com a Modified Compression Fiels Theory	261
Apêndice F: Código MATLAB para Análise com o Softened Truss Model	269