
ÍNDICE

PREFÁCIO	xv
AGRADECIMENTOS	xvii
SIMBOLOGIA	xix

Capítulo 1

INTRODUÇÃO **1**

1.1. Considerações Gerais	1
1.2. Regulamentação	3
1.2.1. Introdução	3
1.2.2. Eurocódigo 3	4
1.2.3. Outras Normas	7
1.3. Bases de Cálculo, Convenções e Caracterização dos Materiais	9

Capítulo 2

MODELAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS **11**

2.1. Introdução	11
2.2. Escolha do Eixo dos Elementos	14
2.3. Influência de Excentricidades e Apoios	16
2.4. Elementos com Secção Variável e Eixo Curvo	19
2.5. Influência das Ligações	27
2.6. Shear Lag	34

ÍNDICE

2.6.1. Definição	34
2.6.2. Métodos de análise	34
2.6.3. Conceito de largura efectiva	39
2.6.4. Parâmetros que influenciam o "shear lag"	40
2.6.5. Aspectos regulamentares	43
2.7. Encurvadura Local das Secções	48
2.8. Exemplos de Aplicação	48

Capítulo 3

DIMENSIONAMENTO PLÁSTICO DE ESTRUTURAS

METÁLICAS 75

3.1. Princípios Gerais de Dimensionamento Plástico	75
3.1.1. Introdução	75
3.1.2. Análise plástica limite: método dos mecanismos	77
3.1.3. Aplicabilidade regulamentar da análise plástica	83
3.2. Métodos de Análise	87
3.2.1. Introdução	87
3.2.2. Métodos aproximados para pré-dimensionamento	88
3.2.3. Análise computacional	99
3.2.4. Efeitos de 2ª ordem	103
3.2.4.1. Introdução	103
3.2.4.2. Imperfeições	106
3.2.4.3. Carga crítica elástica	108
3.2.4.4. Métodos aproximados	117
3.2.4.5. Análise elasto-plástica de 2ª ordem	119
3.2.5. Exemplo de aplicação	121

3.3. Estabilidade de Elementos e Resistência à Encurvadura	131
3.3.1. Introdução	131
3.3.2. Critérios gerais para a verificação da estabilidade de elementos com e sem rótulas plásticas	132
3.3.3. Contraventamentos	133
3.3.4. Verificação da Estabilidade de Elementos sem Rótulas Plásticas	135
3.3.4.1. Introdução	135
3.3.4.2. Estabilidade no plano	138
3.3.4.3. Estabilidade fora do plano	138
3.3.5. Verificação da Estabilidade de Elementos com Rótulas Plásticas	147
3.3.5.1. Introdução	147
3.3.5.2. Elementos uniformes constituídos por secções em I laminadas ou soldadas equivalentes	148
3.3.5.3. Elementos não uniformes ou reforçados constituídos por secções em I laminadas ou soldadas equivalentes	150
3.3.5.4. Factores modificativos para gradientes de momento em elementos contraventados lateralmente ao longo do banzo traccionado	153
3.3.6. Exemplos de Aplicação	155
3.4. Caso Prático 1: Dimensionamento Plástico de Pavilhão Industrial	165
3.4.1. Introdução	165
3.4.2. Descrição geral	166
3.4.3. Quantificação de acções e critérios gerais de segurança	167
3.4.3.1. Critérios gerais	167
3.4.3.2. Quantificação das acções permanentes	167

3.4.3.3. Quantificação da sobrecarga de utilização	167
3.4.3.4. Quantificação da acção da neve	167
3.4.3.5. Quantificação da acção do vento	168
3.4.3.6. Quantificação das imperfeições	173
3.4.3.7. Combinações de acções	173
3.4.4. Pré-dimensionamento	176
3.4.5. Análise estrutural	179
3.4.5.1. Análise elástica linear	179
3.4.5.2. Efeitos de 2ª ordem	181
3.4.5.3. Análise elásto-plástica	182
3.4.6. Verificações regulamentares	184
3.4.6.1. Considerações gerais	184
3.4.6.2. Resistência das secções	184
3.4.6.3. Estabilidade das travessas	184
3.4.6.4. Estabilidade dos pilares	187
3.4.7. Síntese	187

Capítulo 4

DIMENSIONAMENTO ELÁSTICO DE ESTRUTURAS

METÁLICAS ESBELTAS **189**

4.1. Princípios Gerais de Dimensionamento Elástico **189**

4.1.1. Introdução 189

4.1.2. Enquadramento regulamentar 192

4.2. Comportamento à Compressão de Placas Reforçadas e não Reforçadas **193**

4.2.1. Comportamento elástico de placas não reforçadas 193

4.2.1.1. Placas comprimidas uniaxialmente	193	
4.2.1.2. Placas submetidas a compressão e flexão uniaxiais	196	
4.2.1.3. Placas solicitadas em duas direcções	197	
4.2.1.4. Placas não uniformes	198	
4.2.1.5. Comportamento pós-encurvadura	198	
4.2.2. Comportamento último de placas não reforçadas	201	
4.2.2.1. Efeito de imperfeições e tensões residuais	201	
4.2.2.2. Conceito de largura efectiva	201	
4.2.3. Comportamento de placas reforçadas	205	
4.2.3.1. Introdução	205	
4.2.3.2. Comportamento elástico	205	
4.2.3.3. Comportamento último	213	
4.3. Resistência a Tensões Normais	218	
4.3.1. Critérios gerais	218	
4.3.2. Secção efectiva	219	
4.3.3. Áreas efectivas de elementos de placa sem reforços	221	ix
4.3.4. Áreas efectivas de elementos de placa com reforços	224	
4.2.4.1. Introdução	224	
4.2.4.2. Comportamento de placa	227	
4.2.4.3. Comportamento de coluna	231	
4.3.5. Exemplos de Aplicação	233	
4.4. Comportamento ao Esforço Transverso de Almas Reforçadas e não Reforçadas	255	
4.4.1. Comportamento elástico	255	
4.4.1.1. Tensão crítica	255	
4.4.1.2. Comportamento pós-encurvadura	260	

4.4.2. Comportamento último	262
4.4.3. Modelos de resistência	263
4.4.3.1. Breve nota histórica	263
4.4.3.2. Modelo de Cardiff	266
4.4.3.3. Modelo de Dubas	267
4.4.3.4. Modelo de Hoglund: método do campo de tensões rodado	269
4.5. Resistência ao Esforço Transverso	276
4.5.1. Critérios regulamentares	276
4.5.1.1. Critérios gerais	276
4.5.1.2. Contribuição da alma	277
4.5.1.3. Contribuição dos banzos	280
4.5.2. Exemplo de Aplicação	281
4.6. Resistência a Forças Transversais	286
4.6.1. Comportamento	286
4.6.1.1. Introdução	286
4.6.1.2. Almas sem reforços longitudinais	288
4.6.1.3. Almas com reforços longitudinais	292
4.6.2. Critérios regulamentares	295
4.6.3. Exemplo de Aplicação	299
4.7. Interação de esforços	304
4.7.1. Critérios regulamentares	304
4.7.1.1. Interação entre esforço transversal, momento flector e esforço axial	304
4.7.1.2. Interação entre forças transversais, momento flector e esforço axial	306
4.7.2. Exemplo de aplicação	306

4.8. Reforços e Pormenorização	309	
4.8.1. Critérios regulamentares	309	
4.8.1.1. Critérios gerais	309	
4.8.1.2. Reforços transversais	310	
4.8.1.3. Reforços transversais de extremidade	314	
4.8.1.4. Reforços longitudinais	316	
4.8.1.5. Pormenorização	316	
4.8.2. Exemplo de aplicação	318	
4.9. Caso Prático 2: Dimensionamento Elástico de Pavilhão Industrial	321	
4.9.1. Introdução	321	
4.9.2. Descrição geral	322	
4.9.3. Análise estrutural	325	
4.9.3.1. Análise elástica linear	325	
4.9.3.2. Efeitos de 2ª ordem	328	
4.9.4. Verificações regulamentares	329	
4.9.4.1. Considerações gerais	329	
4.9.4.2. Resistência das secções	330	
4.9.4.3. Estabilidade das travessas	335	
4.9.4.4. Estabilidade dos pilares	339	
4.9.5. Síntese	342	
4.10. Caso Prático 3: Viga de Alma Cheia	342	
4.10.1. Introdução	342	
4.10.2. Quantificação de acções	343	
4.10.3. Descrição geral da solução estrutural	345	
4.10.4. Análise	346	

4.10.5. Verificações regulamentares	348
4.10.5.1. Considerações gerais	348
4.10.5.2. Resistência a tensões normais	350
4.10.5.3. Resistência ao esforço transversal	352
4.10.5.4. Resistência a forças transversais	352
4.10.5.5. Resistência a esforços combinados	353
4.10.5.6. Verificação dos reforços e pormenorização	353

Capítulo 5

ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS

METÁLICAS POR FEM 357

5.1. Introdução **357**

5.2. Aspectos regulamentares **358**

5.2.1. Introdução 358

5.2.2. Materiais 359

5.2.3. Imperfeições 360

5.2.4. Análise 365

5.2.5. Cargas 366

5.2.6. Critérios de verificação de segurança 366

5.3. Regras gerais na utilização de elementos finitos **367**

5.3.1. Introdução 367

5.3.2. Modelação 368

 5.3.2.1. Critérios gerais 368

 5.3.2.2. Tipos de elementos de casca para modelação de
 secções de parede fina 370

5.3.3. Convergência e medida do erro 372

5.3.3.1. Bases teóricas	372
5.3.3.2. Implementação prática de critérios de convergência em análises incrementais ou iterativas	376
5.3.4. Exemplo de aplicação	379
5.4. Caso Prático 4: Ponte do Tâmega	387
5.4.1. Descrição geral	387
5.4.2. Análise estrutural	390
5.4.2.1. Metodologia	390
5.4.2.2. Calibração do modelo de elementos finitos	392
5.4.2.3. Avaliação comparativa da capacidade resistente das secções	393
Referências Bibliográficas	399
Anexo A	
<u>NORMAS PARA CONSTRUÇÃO METÁLICA</u>	411
A.1. Introdução	411
A.2. Materiais	411
A.3. Fabricação	417
A.4. Soldadura	417
A.5. Ensaios	419
A.6. Montagem	419
A.7. Protecção contra corrosão	420

A.8. Outras	421
--------------------	------------

Anexo B

COEFICIENTES PARA A DETERMINAÇÃO DE MOMENTO

CRÍTICO ELÁSTICO E FACTORES DE INTERACÇÃO

<u>EM FLEXÃO COMPOSTA</u>	423
----------------------------------	------------

B.1. Coeficientes para o cálculo do momento crítico	423
--	------------

B.2. Factores de interacção em flexão composta	426
---	------------

B.2.1. Método 1	426
-----------------	-----

B.2.2. Método 2	430
-----------------	-----

PREFÁCIO

Ao mesmo tempo que a CMM reedita o Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas do Professor Rui Simões – essencialmente dedicado a estruturas de edifícios - publica este compêndio ou complemento ao mesmo tema, que considero uma das mais iluminantes abordagens aos problemas estruturais e certamente o mais completo texto sobre estruturas publicado em Portugal nos últimos anos.

Não são publicações que se sobreponham porque este livro funciona como abrindo, para cada fenómeno estrutural, uma janela que revê hipóteses simplificadas e as desenvolve para terem em conta realidades ou aspectos de nível superior, ou “avançado”, que em determinadas situações não podem ser desprezados e requerem modelação mais complexa. Parte da explicação do fenómeno na sua globalidade, elenca métodos de abordagem analítica, numérica ou experimental e explica as opções incluídas no Eurocódigo 3.

Após uma introdução aos objectivos da publicação – a compreensão das regras mais complexas do Eurocódigo 3 e dos modelos de cálculo que sugere ou preconiza – o livro está organizado em três grandes capítulos: um primeiro em que são aprofundadas as hipóteses de modelação de problemas correntes e analisadas as situações em que as simplificações usuais são insuficientes; um segundo, em que são introduzidos os métodos de análise que integram o comportamento elasto-plástico do aço na modelação de estruturas e que exigem a consideração de efeitos não lineares na estimativa da sua resistência; um terceiro, que aborda a modelação de elementos estruturais (e estruturas) cujo comportamento não é linear por estarem sujeitos a fenómenos de encurvadura. Salienta-se neste último capítulo (cap. 4) o muito completo tratamento da resistência de chapas esbeltas, reforçadas ou não, isoladas ou formando vigas e colunas com secções de paredes finas, sujeitas a esforços simples ou compostos, e a explicação das regras propostas no Eurocódigo para ter em conta o seu comportamento. É um capítulo particularmente útil para a compreensão da parte do Eurocódigo dedicada a pontes e uma evidência do carácter abrangente deste livro.

PREFÁCIO

A influência dos parâmetros considerados nas modelações mais avançadas é descrita com base numa exaustiva síntese (também histórica) da literatura científica (cuidadosamente referenciada) e é ilustrada por resultados de análises computacionais ou experimentais. Em cada capítulo é modelada uma estrutura porticada de um pavilhão industrial em que se evidencia o significado das regras de dimensionamento aí referidas.

De salientar a muito útil compilação (em anexo) de normas pertinentes no âmbito das estruturas, reforçando a mensagem da importância do conhecimento interdisciplinar da complexidade do aço para completo domínio das suas potencialidades. Para anexo é também remetida a parametrização do cálculo do momento crítico elástico e dos factores de interacção em flexão composta propostos no Eurocódigo 3.

Como responsável pela linha editorial da CMM e como académico, considero que esta publicação terá uma grande utilidade na formação de jovens engenheiros de estruturas e facilitará muito a penetração dos novos códigos no domínio do projecto em Portugal e, se traduzida, na Europa. Os Eurocódigos para estruturas de aço e mistas são bastante complexos e a preparação universitária, mesmo nos cursos de 2º ciclo de Bolonha (anterior licenciatura), é insuficiente para abarcar o leque de conhecimentos que este livro evidencia serem necessários. Requerem mais estudo, como a CMM vem defendendo e apoiando. Este é evidentemente um texto que servirá de base a essa pós-graduação.