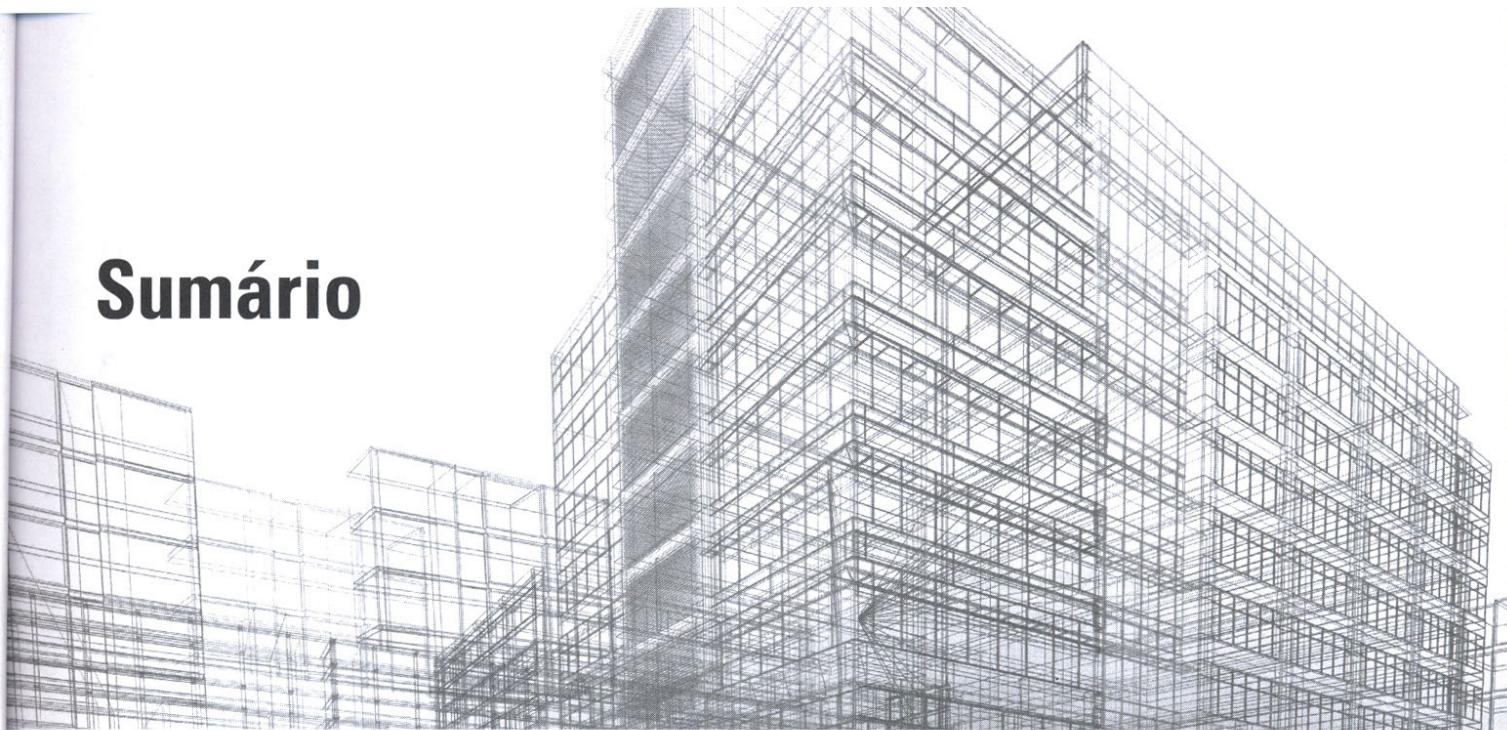


Sumário



Prefácio	XV
-----------------------	-----------

Capítulo 1 – O aço e o concreto nas estruturas	1
---	----------

1.1 Considerações iniciais	1
1.2 Elementos estruturais.....	1
1.2.1 Elementos estruturais de aço.....	1
1.2.2 Elementos estruturais mistos de aço e concreto.....	2
1.2.3 Estruturas híbridas.....	3
1.3 Vantagens do aço como material estrutural	4
1.3.1 Elevada resistência.....	4
1.3.2 Elevada ductilidade	5
1.3.3 Alto grau de confiança	5
1.3.4 Canteiro de obras menor, limpo e organizado.....	6
1.3.5 Facilidade de reforço e ampliação	6
1.3.6 Reciclagem e reaproveitamento	6
1.3.7 Rapidez de execução.....	7
1.4 Cuidados na utilização do aço como material estrutural	7
1.4.1 Corrosão	8
1.4.2 Comportamento em situação de incêndio	9
1.5 Noções sobre consumo de aço estrutural.....	12
Bibliografia	12

Capítulo 2 – Materiais estruturais	13
---	-----------

2.1 Considerações iniciais	13
2.2 Aços estruturais de perfis.....	13
2.2.1 Requisitos necessários.....	13
2.2.2 Propriedades mecânicas	13
2.2.3 Composição química.....	15
2.2.4 Classificação.....	16
2.2.5 Aços estruturais usados no Brasil	17

2.3	Aços estruturais de armaduras.....	19
2.4	Concreto.....	20
	Bibliografia.....	21

Capítulo 3 – Perfis estruturais de aço 23

3.1	Considerações iniciais	23
3.2	Perfis laminados.....	23
3.2.1	Considerações sobre obtenção	23
3.2.2	Perfis produzidos no Brasil	24
3.3	Perfis soldados	28
3.4	Tensões residuais nos perfis.....	29
3.4.1	Origem e distribuição.....	30
3.4.2	Influência no diagrama de tensão <i>versus</i> deformação.....	31
	Bibliografia.....	32

Capítulo 4 – Ações, segurança e desempenho estrutural 33

4.1	Considerações iniciais	33
4.2	Ações	33
4.2.1	Definição	33
4.2.2	Classificação	34
4.2.3	Informações básicas sobre os valores das ações permanentes e variáveis.....	35
4.2.4	Significado dos valores das ações	39
4.3	Método dos estados-limites	40
4.3.1	Fundamento.....	40
4.3.2	Estados-limites últimos	40
4.3.3	Estados-limites de serviço.....	44
4.4	Exemplos de aplicação	52
4.4.1	Forças axiais de cálculo e estado-limite de serviço em treliça	52
4.4.2	Forças axiais de cálculo em treliça com ações agrupadas	54
4.4.3	Esforços de cálculo e estados-limites de serviço em piso de edifício.....	55
4.4.4	Esforço solicitante de cálculo na fase de construção	59
4.4.5	Esforços de cálculo em piso de edifício com ações agrupadas.....	59
4.4.6	Verificação de flecha em vigas em balanço e biengastada	60
	Bibliografia.....	60

Capítulo 5 – Estabilidade lateral e análise estrutural..... 61

5.1	Considerações iniciais	61
5.2	Ideias básicas sobre estabilidade lateral	61
5.2.1	Componentes resistentes e não resistentes a ações horizontais	61
5.2.2	Considerações sobre contraventamentos e pórticos.....	63
5.2.3	Considerações sobre paredes de cisalhamento e núcleos de concreto	66
5.3	Análise estrutural.....	67
5.3.1	Definição e tipos.....	67
5.3.2	Análise elástica de primeira ordem.....	67
5.3.3	Análise elástica de segunda ordem	67

5.4	Consideração de efeitos de imperfeições na análise.....	72
5.4.1	Tipos de imperfeição.....	72
5.4.2	Imperfeições iniciais geométricas.....	72
5.4.3	Imperfeições iniciais de material	74
5.5	Análise estrutural para estados-limites últimos	74
5.5.1	Análise de segunda ordem	74
5.5.2	Possibilidade de análise de primeira ordem.....	75
5.6	Análise estrutural para estados-limites de serviço.....	75
5.7	Requisitos para contenções laterais	76
5.8	Exemplos de aplicação	77
5.8.1	Esforços solicitantes em estrutura de um andar e estados-limites de serviço..	78
5.8.2	Esforços solicitantes de cálculo em estrutura de dois andares.....	79
5.8.3	Estado-limite de serviço em estrutura de dois andares	87
5.8.4	Análise de sistema treliçado como subestrutura de contraventamento.....	88
5.8.5	Barra birrotulada com carga uniformemente distribuída e força axial	88
5.8.6	Barra birrotulada com momentos de extremidade e força axial	89
5.8.7	Esforços nas escoras do Subitem 5.8.1	90
5.8.8	Esforços nas escoras do Subitem 5.8.2	90
	Bibliografia.....	91

Capítulo 6 – Barras de aço tracionadas..... 93

6.1	Considerações iniciais	93
6.2	Noções sobre treliças planas.....	95
6.3	Estudo da região de ligação	98
6.3.1	Ideias iniciais.....	98
6.3.2	Área líquida.....	99
6.3.3	Área líquida efetiva.....	102
6.4	Identificação dos estados-limites últimos	106
6.5	Dimensionamento aos estados-limites últimos.....	107
6.6	Limitação do índice de esbeltez.....	107
6.7	Emprego de barras compostas	108
6.8	Barras redondas com extremidades rosqueadas	109
6.9	Efeitos adicionais.....	110
6.9.1	Efeito da excentricidade da ligação	110
6.9.2	Efeito do peso próprio da barra.....	111
6.10	Exemplos de aplicação	112
6.10.1	Largura líquida e área líquida de elemento plano	112
6.10.2	Alteração da linha de ruptura dominante do Subitem 6.10.1	112
6.10.3	Área líquida de perfil I soldado.....	112
6.10.4	Força axial resistente de cálculo em diversos perfis	113
6.10.5	Força axial resistente de cálculo em cantoneira.....	114
6.10.6	Dimensionamento de diagonal de treliça em cantoneira dupla.....	115
6.10.7	Verificação de banzo de treliça em duplo U com ligação parafusada.....	117
6.10.8	Verificação de banzo de treliça em duplo U com ligação soldada.....	119
6.10.9	Verificação de banzo de treliça em perfil T	120
6.10.10	Verificação de contraventamento em perfil H com recorte na ligação	120

6.10.11	Dimensionamento de barra redonda rosqueada de contraventamento	121
6.10.12	Verificação de barra redonda rosqueada de treliça	122
	Bibliografia	122

Capítulo 7 – Barras de aço comprimidas..... 123

7.1	Considerações iniciais	123
7.2	Instabilidade de barras com curvatura inicial	123
7.2.1	Fundamentos teóricos	123
7.2.2	Força axial resistente nominal.....	125
7.2.3	Valor da força axial de flambagem elástica.....	128
7.3	Flambagem local.....	135
7.3.1	Ideias básicas.....	135
7.3.2	Elementos AA	137
7.3.3	Elementos AL.....	138
7.3.4	Força axial resistente.....	140
7.4	Interação entre instabilidade da barra e flambagem local.....	140
7.5	Dimensionamento aos estados-limites últimos.....	140
7.6	Limitação do índice de esbeltez.....	141
7.7	Emprego de barras compostas	141
7.8	Exemplos de aplicação	142
7.8.1	Verificação de um pilar em perfil I soldado	142
7.8.2	Verificação de um pilar em perfil I soldado com instabilidade por torção....	145
7.8.3	Força axial resistente de diagonal de treliça em cantoneiras	145
7.8.4	Verificação de cantoneira dupla de treliça com travamento central.....	149
7.8.5	Força axial resistente de cantoneira simples com e sem travamento central.	151
7.8.6	Dimensionamento de barra de treliça em duplo U.....	152
7.8.7	Força axial solicitante de elemento contraventado em perfil I laminado.....	157
7.8.8	Dimensionamento de escoras.....	159
7.8.9	Verificação de banzo de treliça em perfil T	159
	Bibliografia	160

Capítulo 8 – Barras de aço fletidas 161

8.1	Considerações iniciais	161
8.2	Plastificação total da seção transversal	163
8.2.1	Rótula plástica.....	163
8.2.2	Determinação do momento de plastificação	167
8.3	Flambagem lateral com torção	169
8.3.1	Descrição do fenômeno.....	169
8.3.2	Seção contida lateralmente.....	170
8.3.3	Comprimento destravado	171
8.3.4	Capacidade resistente dos elementos de travamento lateral	172
8.3.5	Valor do momento fletor resistente nominal	173
8.4	Flambagem local.....	178
8.4.1	Descrição do fenômeno.....	178
8.4.2	Momento fletor resistente nominal	179

8.5	Dimensionamento ao momento fletor.....	180
8.5.1	Condição necessária.....	180
8.5.2	Estados-limites aplicáveis e momento fletor resistente nominal	181
8.6	Colapso sob força cortante	188
8.6.1	Modos de colapso em perfil I fletido em relação ao eixo x	188
8.6.2	Força cortante resistente nominal nos diversos tipos de perfil.....	191
8.7	Dimensionamento à força cortante	195
8.8	Colapso sob forças localizadas em mesa de perfil I	195
8.8.1	Forças localizadas comprimindo a alma	195
8.8.2	Forças localizadas tracionando a alma.....	197
8.8.3	Apoios de vigas com a alma solta.....	198
8.9	Aberturas na alma de perfil I	199
8.10	Exemplos de aplicação	200
8.10.1	Módulo resistente plástico de seção I duplamente simétrica	200
8.10.2	Módulo resistente plástico de perfil I monossimétrico	200
8.10.3	Verificação de viga em perfil I soldado não tabelado.....	200
8.10.4	Verificação de contenção lateral de seções transversais.....	201
8.10.5	Dimensionamento de viga em perfil I soldado tabelado	202
8.10.6	Dimensionamento de viga em perfil I laminado	210
8.10.7	Verificação de viga à FLT com mesa contida lateralmente	211
8.10.8	Capacidade resistente de um perfil I soldado à força cortante	212
8.10.9	Momento fletor resistente de viga biengastada em perfil I laminado	214
8.10.10	Momento fletor resistente de viga birrotulada com perfil I monossimétrico	214
8.10.11	Momento fletor resistente de viga com balanço com perfil I monossimétrico	218
8.10.12	Carga distribuída de cálculo em situações menos comuns	218
	Bibliografia	219

Capítulo 9 – Barras de aço sob combinação de esforços solicitantes..... **221**

9.1	Considerações iniciais	221
9.2	Noções sobre o comportamento de terças e travessas	223
9.3	Atuação de força axial e momentos fletores	224
9.3.1	Estados-limites últimos	224
9.3.2	Dimensionamento	225
9.4	Dimensionamento à força cortante	226
9.5	Exemplos de aplicação	226
9.5.1	Verificação de barra flexo-comprimida em perfil I laminado	226
9.5.2	Verificação de barra flexo-tracionada em perfil I laminado	227
9.5.3	Verificação de barra flexo-comprimida em perfil I soldado	228
9.5.4	Verificação de pilar flexo-comprimido de pórtico em perfil I laminado	229
9.5.5	Verificação das barras componentes de uma treliça com nós excêntricos	232
9.5.6	Verificação de terça de cobertura em perfil U e seus tirantes.....	233
	Bibliografia	242

10.12.7	Colapso por rasgamento.....	284
10.12.8	Ruptura na região das soldas.....	286
10.13	Força solicitante de cálculo mínima	286
10.14	Exemplos de aplicação	286
10.14.1	Ligaçāo com parafusos submetidos a tração.....	286
10.14.2	Ligaçāo com parafusos submetidos ao cisalhamento	293
10.14.3	Ligaçāo parafusada de barras de treliça com chapa de nó (gusset)	296
10.14.4	Ligaçāo soldada de barras de treliça com chapa de nó (gusset).....	303
10.14.5	Ligaçāo excêntrica parafusada de chapa de console.....	303
10.14.6	Ligaçāo excêntrica parafusada de console em T	310
10.14.7	Emenda parafusada com tala.....	310
10.14.8	Ligações flexíveis com cantoneira dupla	320
10.14.9	Ligações flexíveis com chapa de topo.....	325
10.14.10	Ligações flexíveis com chapa paralela à alma da viga convencional	326
10.14.11	Ligações flexíveis com chapa paralela à alma da viga estendida	330
10.14.12	Ligações rígidas entre viga e pilar com chapa de topo	331
	Bibliografia	343

Capítulo 11 – Bases de pilar 345

11.1	Considerações iniciais	345
11.2	Tipos de base	346
11.2.1	Modos de vinculação	346
11.2.2	Bases engastadas	346
11.2.3	Bases rotuladas.....	347
11.3	Aspectos construtivos, dimensões e propriedades recomendadas.....	348
11.3.1	Execução das bases	348
11.3.2	Quantidade, ancoragem, dimensões e aço dos chumbadores.....	348
11.3.3	Diâmetro e distâncias dos furos na placa de base	349
11.3.4	Arruelas especiais	350
11.3.5	Dimensões da placa de base.....	350
11.3.6	Altura e resistência da argamassa expansiva	350
11.3.7	Dimensões e armadura do bloco de concreto da fundação	351
11.4	Comportamento das bases sob força axial e momento fletor	351
11.4.1	Bases submetidas a força axial de compressão.....	351
11.4.2	Bases submetidas a força axial de tração	353
11.5	Comportamento das bases sob força cortante.....	354
11.5.1	Elementos resistentes a força cortante	354
11.5.2	Barras de cisalhamento	354
11.5.3	Chumbadores	356
11.6	Verificação do concreto do bloco de fundação	357
11.7	Verificação dos chumbadores	357
11.7.1	Solicitação	357
11.7.2	Chumbadores trabalhando à tração	357
11.7.3	Chumbadores trabalhando a cisalhamento.....	359
11.8	Verificação da placa de base	360
11.8.1	Condição de verificação e espessura mínima da placa de base.....	360
11.8.2	Momento fletor provocado pela compressão no concreto ($M_{pb,c,Sd}$).....	360
11.8.3	Momento fletor provocado pela tração nos chumbadores ($M_{pb,t,Sd}$)	361

11.9	Verificação da barra de cisalhamento	362
11.10	Verificação da solda entre o pilar e a placa de base.....	362
11.11	Outros casos de apoio e fixação de elementos de aço em concreto.....	362
11.12	Exemplos de aplicação	365
11.12.1	Base submetida a forças axiais e cortantes	365
11.12.2	Chumbadores do Subitem 11.12.1 suportando a força cortante.....	370
11.12.3	Base submetida a momentos fletores e forças axiais e cortantes	370
11.12.4	Chumbadores do Subitem 11.12.3 suportando a força cortante.....	377
	Bibliografia.....	377

Capítulo 12 – Lajes mistas de aço e concreto 379

12.1	Considerações iniciais	379
12.2	Aspectos do comportamento	380
12.3	Produtos, materiais e dimensões	381
12.3.1	Considerações gerais.....	381
12.3.2	Fôrmas da Metform.....	382
12.4	Aspectos construtivos	382
12.5	Dimensionamento da laje mista aos estados-limites últimos	383
12.5.1	Fase inicial	383
12.5.2	Fase final	384
12.5.3	Tabelas de dimensionamento para as fases inicial e final	385
12.6	Dimensionamento da laje mista aos estados-limites de serviço	386
12.6.1	Fase inicial	386
12.6.2	Fase final	386
12.7	Exemplos de aplicação	389
12.7.1	Laje mista de piso com vão de 3,60 m e sobrecarga de 4 kN/m ²	389
12.7.2	Laje mista de piso com vão de 2,80 m e carga sobreposta de 5,1 kN/m ²	390
12.7.3	Simulação da distribuição mais econômica de vigas em piso de edificação.....	391
	Bibliografia.....	393

Capítulo 13 – Vigas mistas de aço e concreto 395

13.1	Considerações iniciais	395
13.2	Perfil de aço	396
13.3	Laje de concreto.....	396
13.3.1	Tipos de laje e propriedades do concreto.....	396
13.3.2	Largura efetiva	397
13.4	Conectores de cisalhamento	398
13.4.1	Tipos de conector	398
13.4.2	Conectores pino com cabeça	399
13.4.3	Conectores em perfil U laminado ou formado a frio	403
13.5	Interação entre o perfil de aço e a laje de concreto.....	404
13.5.1	Comportamento conforme interação.....	404
13.5.2	Valor do esforço horizontal de cálculo.....	406
13.5.3	Definição do grau de interação.....	406

13.6	Dimensionamento das vigas ao momento fletor.....	407
13.6.1	Estados-limites últimos aplicáveis a viga mista.....	407
13.6.2	Processo de dimensionamento	407
13.6.3	Determinação do momento fletor resistente de cálculo	408
13.6.4	Influência do escoramento	413
13.6.5	Número e distribuição dos conectores de cisalhamento	415
13.7	Dimensionamento das vigas a força cortante	416
13.8	Armadura de costura para evitar ruptura da laje por cisalhamento	416
13.9	Estados-limites de serviço	420
13.9.1	Identificação	420
13.9.2	Flecha	420
13.9.3	Vibração	422
13.9.4	Armadura na laje devido à tendência de continuidade	422
13.10	Disposições construtivas complementares	424
13.10.1	Lajes de concreto com fórmula de aço incorporada.....	424
13.10.2	Lajes com pré-laje de concreto pré-moldada	425
13.10.3	Conectores de cisalhamento.....	426
13.11	Exemplos de aplicação	426
13.11.1	Momento e força cortante resistentes e uso de conectores e armaduras	426
13.11.2	Verificação de vigas mistas secundárias internas com laje maciça	427
13.11.3	Verificação de viga mista de extremidade com laje maciça	436
13.11.4	Viga mista com h/t_w entre $3,76\sqrt{E_a/f_y}$ e $5,70\sqrt{E_a/f_y}$	437
13.11.5	Viga mista secundária com perfil laminado não escorado e laje mista	438
13.11.6	Viga mista principal com perfil monossimétrico não escorado e laje mista	438
	Bibliografia	452

Capítulo 14 – Pilares mistos de aço e concreto 453

14.1	Considerações iniciais	453
14.2	Método de dimensionamento.....	454
14.2.1	Condições de cálculo	454
14.2.2	Hipóteses básicas	454
14.2.3	Requisitos de projeto.....	455
14.2.4	Força axial de compressão resistente de cálculo.....	459
14.3	Regiões de introdução de carga	460
14.3.1	Ligações de vigas nos pilares.....	460
14.3.2	Bases e emendas de pilares	462
14.4	Considerações sobre a continuidade da armadura longitudinal.....	464
14.5	Exemplos de aplicação	465
14.5.1	Pilar misto totalmente revestido com concreto	465
14.5.2	Pilar misto parcialmente revestido com concreto	468
14.5.3	Introdução de carga por vigas ligadas ao pilar.....	469
14.5.4	Introdução de carga por interrupção das barras de armaduras	471
14.5.5	Emenda das barras da armadura longitudinal	473
	Bibliografia	475

Apêndice A – Perfis laminados de seção aberta e barras redondas.....	477
A.1 Perfis I de faces inclinadas.....	477
A.2 Perfis U	479
A.3 Cantoneiras de abas iguais.....	480
A.3.1 Série baseada em polegadas.....	480
A.3.2 Série métrica	482
A.4 Perfis I de faces paralelas produzidos pela Gerdau	483
A.5 Perfis H de faces paralelas produzidos pela Gerdau.....	486
A.6 Barras redondas lisas	487
A.7 Barras redondas nervuradas.....	487
Apêndice B – Alguns perfis soldados conforme ABNT NBR 5884:2005	489
B.1 Série VS	489
B.2 Série CS	491
B.3 Série CVS	491
B.4 Série VSM	492
Apêndice C – Flechas em barras de aço	493
C.1 Barras birrotuladas.....	493
C.1.1 Carga uniformemente distribuída.....	493
C.1.2 Carga concentrada na seção central	493
C.1.3 Carga concentrada em uma seção qualquer	494
C.1.4 Duas cargas concentradas de mesmo valor igualmente afastadas dos apoios	494
C.2 Barras rotuladas em uma extremidade e engastadas na outra	494
C.2.1 Carga uniformemente distribuída.....	494
C.2.2 Carga concentrada na seção central	494
C.2.3 Carga concentrada em uma seção qualquer	495
C.3 Barras biengastadas	495
C.3.1 Carga uniformemente distribuída.....	495
C.3.2 Carga concentrada na seção central	495
C.3.3 Carga concentrada em uma seção qualquer	495
C.4 Barras em balanço	496
C.4.1 Carga uniformemente distribuída.....	496
C.4.2 Carga concentrada em uma seção qualquer	496
C.4.3 Carga concentrada na extremidade livre	496
C.4.4 Momento na extremidade livre	496