

SUMÁRIO

PREFÁCIO À QUARTA EDIÇÃO	13
PREFÁCIO À SEGUNDA EDIÇÃO	15
PREFÁCIO À PRIMEIRA EDIÇÃO	17
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	19
1.1 Conceitos fundamentais.....	19
1.2 Vantagens e desvantagens do concreto armado	21
1.2.1 Vantagens	21
1.2.2 Desvantagens.....	22
1.3 Pequeno histórico.....	22
1.4 Sistemas e elementos estruturais	23
1.5 Normas técnicas.....	27
1.6 Características e propriedades do concreto	29
1.6.1 Concreto fresco	30
1.6.1.1 Consistência	30
1.6.1.2 Trabalhabilidade	30
1.6.1.3 Homogeneidade	31
1.6.1.4 Adensamento.....	31
1.6.1.5 Início do endurecimento (pega) do concreto	32
1.6.1.6 Cura do concreto	32
1.6.2 Concreto endurecido	33
1.6.2.1 Resistência à compressão	34
1.6.2.2 Resistência característica do concreto à compressão	34
1.6.2.3 Resistência do concreto à tração	36
1.6.2.4 Diagramas tensão-deformação e módulo de elasticidade do concreto	38
1.6.2.4.1. Módulo de elasticidade.....	38
1.6.2.4.2 Diagramas tensão-deformação na compressão segundo a ABNT NBR 6118:2014	40
1.6.2.4.3 Diagramas tensão-deformação na tração segundo a ABNT NBR 6118:2014	42
1.6.2.5 Módulo de elasticidade transversal e coeficiente de Poisson.....	42

1.6.2.6 Diagrama tensão-deformação com carga e descarga (ensaio rápido).....	42
1.7 Características do aço.....	43
1.8 Dimensionamento (cálculo) de uma estrutura	46
1.8.1 Métodos clássicos	47
1.8.2 Métodos de cálculo na ruptura (ou dos estados limites)	47
1.8.2.1 Valores característicos das resistências	49
1.8.2.2 Valores de cálculo das resistências.....	49
1.8.2.3 Valores de cálculo das tensões resistentes.....	49
1.8.2.4 Valores de cálculo da resistência do concreto	49
1.8.2.5 Coeficientes de ponderação das resistências	51
1.8.2.6 Estados limites	52
1.8.3 Ações.....	53
1.8.3.1 Ações permanentes.....	54
1.8.3.2 Ações variáveis.....	54
1.8.3.3 Ações excepcionais	56
1.8.3.4 Valores representativos das ações	56
1.8.3.5 Valores de cálculo	57
1.8.4 Coeficientes de ponderação das ações.....	57
1.8.4.1 Coeficientes de ponderação para os estados limites últimos	58
1.8.4.2 Coeficientes de ponderação para os estados limites de serviço	60
1.8.5 Combinações das ações	60
1.8.5.1 Combinações últimas	61
1.8.5.2 Combinações de serviço	62
1.8.6 Solicitações.....	63
1.9 Qualidade das estruturas.....	64
1.10 Durabilidade das estruturas de concreto	65
1.11 Cuidados a tomar em um projeto para garantir a durabilidade	67
Adendo.....	67

CAPÍTULO 2

PAVIMENTOS DE EDIFICAÇÕES COM LAJES NERVURADAS

UNIDIRECIONAIS DE VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS.....	73
2.1 Introdução	73
2.2 Descrição das lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas.....	73
2.3 Ação da laje nas vigas do pavimento	79
2.3.1 Estudo preliminar.....	79

2.3.2 Demais casos analisados e resultados obtidos	86
2.3.3 Análise dos resultados	87
2.3.4 Conclusões	88
2.4 Determinação das flechas nas lajes pré-moldadas	90
2.5 Momento fletor e modelo para o cálculo da armadura.....	90
2.6 Verificação ao cisalhamento	92
2.7 Critérios para escolha da laje pré-moldada	94
2.7.1 Ações atuantes na laje.....	94
2.7.2 Determinação do tipo de laje.....	95
2.8 Critérios para a escolha da altura de vigas de pavimentos	100
2.9 Considerações finais.....	101
Exemplo 1	102
Exemplo 2	103
Exemplo 3	104
Exemplo 4.....	105
Adendo	108

CAPÍTULO 3

CÁLCULO DA ARMADURA DE FLEXÃO	I I I
3.1 Introdução.....	111
3.2 Tipos de flexão	112
3.3 Processo de colapso de vigas sob tensões normais	113
3.4 Hipóteses básicas para o cálculo.....	115
3.5 Definições e nomenclatura.....	119
3.6 Domínios de deformação na seção transversal	120
3.7 Cálculo da armadura longitudinal em vigas sob flexão normal.....	126
3.7.1 Equacionamento para concretos de classe até C50.....	126
Exemplo 1	130
3.7.2 Equacionamento para concretos de qualquer classe.....	131
Exemplo 2 (é o exemplo 1 com resistência característica do concreto $f_{ck} = 90$ MPa)	132
3.7.3 Cálculo do máximo momento resistente da seção	133
Exemplo 3	134
3.7.4. Condições de ductilidade em vigas e redistribuição de momentos	135
3.7.3 Cálculo do máximo momento resistente da seção, conhecida a armadura longitudinal	136

Exemplo 4	137
3.7.4 Cálculo da altura mínima de uma seção com armadura simples	138
Exemplo 5	139
3.7.5 Fórmulas adimensionais para dimensionamento de seções retangulares... ..	140
Exemplo 6	143
3.7.6 Cálculo de seções com armadura dupla	144
Exemplo 7	146
3.7.7 Cálculo de armadura em vigas de seção transversal em forma de “T”	147
Exemplo 8	151
Exemplo 9	152
Exercícios resolvidos	154
Exercícios propostos.....	161
Adendo A	163
Adendo B.....	169

CAPÍTULO 4

DETALHAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL (FLEXÃO) NA SEÇÃO

TRANSVERSAL E ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO	173
4.1 Introdução.....	173
4.2 Armadura longitudinal mínima e máxima em uma seção	175
4.2.1 Armadura mínima.....	175
4.2.2 Armadura máxima.....	176
4.3 Armadura concentrada.....	176
4.4 Armadura de pele.....	177
4.5 Espaçamentos entre as barras.....	178
4.6 Proteção e cobrimento	179
4.7 Análise da fissuração em peças de concreto armado.....	181
4.7.1 Abertura máxima de fissuras	181
4.7.2 Controle da fissuração pela limitação da abertura estimada das fissuras ...	182
4.7.3 Controle da fissuração sem a verificação da abertura de fissuras	184
4.8 Verificação do estado limite de deformação excessiva	185
4.8.1 Deslocamentos limites.....	185
4.8.2 Cálculo de deslocamentos em vigas.....	188
4.8.2.1 Características geométricas de seções no estágio I.....	192
4.8.2.2 Características geométricas de seções no estágio II.....	195

4.8.2.3 Efeito da fissuração – modelo simplificado de Branson para flecha imediata.....	197
4.8.2.4 Efeito da fluência do concreto – avaliação da flecha diferida no tempo..	200
Exemplo 1	201
Exemplo 2	215
Exemplo 3	219
Adendo	221

CAPÍTULO 5

DETALHAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL AO LONGO DA VIGA....	225
5.1 Introdução.....	225
5.2 Quantidade de armadura longitudinal ao longo da viga.....	225
5.3 Ancoragem por aderência da armadura longitudinal.....	228
5.3.1 Aderência entre concreto e aço.....	228
5.3.1.1 Determinação da tensão de aderência.....	229
5.3.1.2 Verificação da aderência entre concreto e armadura.....	230
5.3.1.3 Regiões favoráveis ou desfavoráveis quanto à aderência.....	231
5.3.1.4 Valores das resistências de aderência.....	231
5.3.2 Ancoragem das barras	232
5.3.2.1 Comprimento básico de ancoragem	232
Exemplo 1	233
5.3.2.2 Comprimento necessário de ancoragem	234
5.3.2.3 Armadura transversal na ancoragem.....	234
5.3.2.4 Ancoragem de estribos	235
5.3.3 Ganchos de ancoragem nas extremidades das barras.....	235
5.3.3.1 Ganchos da armadura de tração	235
Exemplo 2	236
Exemplo 3	238
5.3.3.2 Ganchos dos estribos.....	239
5.4 Emendas de barras.....	240
5.4.1 Proporção das barras emendadas	240
5.4.2 Comprimento de traspasse de barras isoladas.....	241
5.4.3 Armadura transversal nas emendas por traspasse em barras isoladas.....	242
5.5 Deslocamento do diagrama de momentos fletores (decalagem).....	243
5.5.1 Deslocamento (decalagem) do diagrama de momentos fletores de acordo com o modelo I	245

5.5.2 Deslocamento (decalagem) do diagrama de momentos fletores de acordo com o modelo II.....	247
5.6 Ancoragem da armadura de tração junto aos apoios	247
5.7 Engastamento viga-pilar	248
5.8 Furos e aberturas em vigas	250
5.8.1 Furos que atravessam as vigas na direção de sua largura	250
5.8.2 Furos que atravessam as vigas na direção da altura	250
5.8.3 Canalizações embutidas.....	251
Exemplo 4 (roteiro para detalhamento).....	252
Adendo	267

CAPÍTULO 6

CISALHAMENTO: CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL.....	271
6.1 Introdução.....	271
6.2 Tensões normais e tangenciais em uma viga.....	274
6.3 Tensões principais	276
6.4 Analogia de treliça de Mörsch	279
6.4.1 Funcionamento básico e elementos constituintes	279
6.4.2 Cálculo da armadura transversal.....	282
Exemplo 1	287
6.5 Verificação das bielas de concreto comprimidas	288
6.5.1 Cálculo das tensões de compressão σ_c nas bielas de concreto	288
6.5.2 Valores limites das tensões de compressão nas bielas.....	290
6.6 Treliça generalizada de Mörsch.....	291
6.7 Estado limite último de elementos lineares sob força cortante (ABNT NBR 6118:2014).....	292
6.7.1 Hipóteses básicas.....	292
6.7.2 Verificação do estado limite último	292
6.7.2.1 Modelo de cálculo I.....	293
Exemplo 2	296
Exemplo 3	298
Exemplo 4.....	299
6.7.2.2 Modelo de cálculo II	300
Exemplo 5	302
6.8 Prescrições para o detalhamento da armadura transversal.....	304
6.8.1 Quantidade mínima de estribos	304

6.8.2 Características dos estribos.....	306
6.8.3 Constituição da armadura transversal.....	306
6.8.4 Espaçamento entre elementos da armadura transversal.....	306
6.8.5 Cargas próximas aos apoios	307
Exemplo 6	307
Adendo	311

CAPÍTULO 7

PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS COM LAJES MACIÇAS	319
7.1 Introdução.....	319
7.2 Métodos de cálculo	321
7.3 Método elástico.....	321
7.3.1 Hipóteses de cálculo	322
7.3.2 Equação fundamental.....	323
7.3.3 Processos de resolução	325
7.3.4 Cálculo por diferenças finitas	325
7.3.5 Processo dos elementos finitos	325
7.3.6 Processo de grelha equivalente	326
7.3.7 Determinação de esforços e deslocamentos por meio de séries	327
7.3.7.1 Fundamentos do processo	327
7.3.7.2 Utilização de quadros	330
7.3.7.2.1 Determinação de flechas	331
7.3.7.2.2 Determinação dos momentos máximos nas direções x e y	333
7.4 Roteiro para o cálculo de lajes de concreto armado.....	336
7.4.1 Discretização do pavimento	336
7.4.2 Pré-dimensionamento da altura das lajes.....	338
7.4.3 Cálculo das cargas atuantes	340
7.4.4 Verificação das flechas	340
7.4.5 Cálculo dos momentos	341
7.4.6 Determinação das armaduras longitudinais.....	341
7.4.7 Reação das lajes nas vigas	341
7.4.8 Verificação de lajes ao cisalhamento	347
7.4.8.1 Lajes sem armadura para força cortante	347
7.4.8.2 Lajes com armadura para força cortante (item 19.3.2)	348
7.4.9 Aberturas em lajes	349
7.4.10 Vãos efetivos de lajes e placas	350

7.4.11 Detalhamento das armaduras	350
7.4.11.1 Espaçamento entre barras.....	350
7.4.11.2 Armaduras longitudinais máximas e mínimas	351
7.4.11.3 Armadura de distribuição e secundária de flexão.....	352
7.4.11.4 Espaçamento e diâmetro máximo.....	352
7.4.11.5 Quantidade e comprimentos mínimos de armaduras em bordas livres e aberturas	352
7.4.11.6 Armadura de tração sobre os apoios	352
7.4.11.7 Armadura nos cantos de lajes retangulares e outras recomendações	353
Exemplo 1	354
Adendo	369

ANEXO I

FLEXÃO DE LAJES NERVURADAS UNIDIRECIONAIS CONTÍNUAS COM VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS	375
Exemplo.....	380

ANEXO 2

QUADROS DE VÃOS MÁXIMOS E CONTRAFLECHAS PARA LAJES COM VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS.....	391
---	-----

ANEXO 3

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CÁLCULO DE LAJES MACIÇAS COM ANALOGIA DE GRELHA.....	399
A3.1 Introdução.....	399
A3.2 Processo de analogia de grelha	399
A3.3 Situações analisadas	401
REFERÊNCIAS.....	409