

SUMÁRIO

PREFÁCIO À QUINTA EDIÇÃO	15
PREFÁCIO À QUARTA EDIÇÃO	17
PREFÁCIO À SEGUNDA EDIÇÃO	19
PREFÁCIO À PRIMEIRA EDIÇÃO	21
CAPÍTULO I	
INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	
ARMADO	23
1.1 Conceitos fundamentais	23
1.2 Vantagens e desvantagens do concreto armado	28
1.2.1 Vantagens	28
1.2.2 Desvantagens	29
1.3 Pequeno histórico	29
1.4 Sistemas e elementos estruturais	30
1.5 Normas técnicas	34
1.6 Introdução à teoria técnica do concreto armado	36
1.6.1 Fissuração na flexão e momento de fissuração	36
1.6.2 Ações para o cálculo de vigas	39
1.6.3 Exercícios	41
1.7 Características e propriedades do concreto	44
1.7.1 Concreto fresco	45
1.7.1.1 Consistência	45
1.7.1.2 Trabalhabilidade	46

1.7.1.3 Homogeneidade	46
1.7.1.4 Adensamento.....	47
1.7.1.5 Início do endurecimento (pega) do concreto	47
1.7.1.6 Cura do concreto	48
1.7.1.7 Efeitos das variáveis tempo, temperatura, umidade e velocidade do vento.....	48
1.7.2 Concreto endurecido.....	48
1.7.2.1 Resistência à compressão	49
1.7.2.2 Resistência característica do concreto à compressão	50
1.7.2.3 Resistência do concreto à tração	52
1.7.2.4 Diagramas tensão-deformação e módulo de elasticidade do concreto	54
1.7.2.4.1 Módulo de elasticidade.....	55
1.7.2.4.2 Diagramas tensão-deformação na compressão segundo a ABNT NBR 6118:2023.....	58
1.7.2.4.3 Diagramas tensão-deformação na tração segundo a ABNT NBR 6118:2023.....	60
1.7.2.5 Módulo de elasticidade transversal e coeficiente de Poisson	61
1.7.2.6 Diagrama tensão-deformação com carga e descarga (ensaio rápido).....	61
1.8 Características do aço	62
1.9 Dimensionamento (cálculo) de uma estrutura	65
1.9.1 Métodos clássicos.....	66
1.9.2 Métodos de cálculo na ruptura (ou dos estados limites).....	67
1.9.2.1 Valores característicos das resistências.....	68
1.9.2.2 Valores de cálculo das resistências.....	68
1.9.2.3 Valores de cálculo das tensões resistentes.....	69
1.9.2.4 Valores de cálculo da resistência do concreto	69
1.9.2.5 Coeficientes de ponderação das resistências.....	71
1.9.2.6 Estados limites.....	72
1.9.3 Ações.....	76
1.9.3.1 Ações permanentes	77
1.9.3.2 Ações variáveis.....	77
1.9.3.3 Ações excepcionais.....	79
1.9.3.4 Valores representativos das ações	80
1.9.3.5 Valores de cálculo.....	80

1.9.4 Coeficientes de ponderação das ações	81
1.9.4.1 Coeficientes de ponderação para os estados limites últimos	81
1.9.4.2 Coeficientes de ponderação para os estados limites de serviço.....	83
1.9.5 Combinações das ações	83
1.9.5.1 Combinações últimas.....	84
1.9.5.2 Combinações de serviço.....	86
1.9.6 Solicitações.....	87
1.10 Qualidade das estruturas.....	87
1.11 Durabilidade das estruturas de concreto	88
1.12 Cuidados a tomar em um projeto para garantir a durabilidade....	90
1.13 Emprego de programas automáticos para o cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado	92
Adendo.....	92
Resumo das expressões e principais grandezas relacionadas neste capítulo	92

CAPÍTULO 2

CÁLCULO DA ARMADURA DE FLEXÃO (NORMAL) DE SEÇÕES

RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO	95
2.1 Introdução	95
2.2 Tipos de flexão.....	96
2.3 Processo de colapso (ruína) de vigas em trechos sob tensões normais decorrentes de flexão simples	98
2.4 Hipóteses básicas para o cálculo	101
2.5 Definições e nomenclatura	107
2.6 Domínios de deformação na seção transversal.....	108
2.7 Cálculo da armadura longitudinal em vigas sob flexão normal	113
2.7.1 Equacionamento para concretos de classe até C40.....	113
2.7.2 Equacionamento para concretos de qualquer classe	120
2.7.3 Fórmulas adimensionais para dimensionamento de seções retangulares	123
2.7.4 Cálculo do máximo momento resistente da seção (M_{Rd}).....	127
2.7.5 Condições de ductilidade em vigas e redistribuição de momentos .	129
2.7.6 Cálculo do máximo momento resistente da seção, conhecida a armadura longitudinal.....	130

2.7.7 Cálculo da altura mínima de uma seção com armadura simples.....	133
2.7.8 Cálculo de seções com armadura dupla	135
2.7.9 Resumo dos resultados dos exemplos de viga retangular	142
2.7.10 Cálculo de armadura em vigas de seção transversal em forma de “T”.....	144
2.7.11 Cálculo de armadura de nervuras de lajes unidirecionais “tipo treliça” considerando a seção transversal em forma de “T”	151
Adendo A.....	156

CAPÍTULO 3

PAVIMENTOS DE EDIFICAÇÕES COM LAJES NERVURADAS

UNIDIRECIONAIS DE VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS	161
3.1 Introdução	161
3.2 Descrição das lajes nervuradas com vigotas pré-moldadas.....	162
3.3 Elementos constitutivos das lajes pré-fabricadas.....	164
3.3.1 Vigotas	164
3.3.2 Armaduras.....	167
3.3.2.1 Requisitos para barras, fios e armadura treliçada.....	167
3.3.2.2 Armadura treliçada eletrossoldada (TR).....	167
3.3.3 Elementos de enchimento (inertes).....	168
3.4 Altura total das lajes e espessura da capa	170
3.5 Principais aspectos construtivos e de funcionamento.....	171
3.5.1 Aspectos construtivos.....	171
3.6 Vantagens e desvantagens das lajes pré-fabricadas para o uso de pavimento	176
3.7 Comportamento estrutural das lajes unidirecionais pré-fabricadas em um pavimento	177
3.7.1 Modelos de análise (cálculo de esforços solicitantes e deslocamentos).....	178
3.7.1.1 O pavimento como chapa	178
3.7.1.2 Pavimento como placa (plano horizontal), ações verticais.....	179
3.7.1.2.1 Elemento isolado e simplesmente apoiado em apoios indeslocáveis na vertical	179
3.7.1.2.2 Elemento isolado com continuidade por meio de armação na capa, apoios indeslocáveis na vertical.....	180

3.7.1.2.3 Grelha formada por nervuras da laje e apoiadas em vigas deformáveis na vertical	182
3.7.1.2.4 Grelha formada por nervuras da laje, elementos transversais que representam a capa, todos apoiados em vigas (barras de grelhas), e apenas os pilares com os apoios considerados indeslocáveis na vertical.....	183
3.8 Comentários e utilização dos modelos de cálculo	183
3.9 Considerações de geometria e de ações atuantes.....	188
3.9.1 Geometria da seção transversal.....	188
3.9.2 Geometria da armadura longitudinal positiva	188
3.9.3 Ações atuantes na laje	190
3.10 Cálculo e verificações.....	193
3.10.1 Verificação de flexão.....	193
3.10.2 Verificação da força cortante	194
3.10.3 Verificação de deformação.....	195
3.11 Critérios para projeto de pavimentos com laje pré-moldada.....	195
3.12 Armaduras construtivas	196
3.13 Considerações finais	212

CAPÍTULO 4

DETALHAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL (FLEXÃO) NA SEÇÃO

TRANSVERSAL E ESTADOS LIMITES DE UTILIZAÇÃO	213
4.1 Introdução	213
4.2 Armadura longitudinal mínima e máxima em uma seção.....	216
4.2.1 Armadura mínima.....	217
4.2.2 Armadura máxima	217
4.3 Armadura concentrada	218
4.4 Armadura de pele	218
4.5 Espaçamentos entre as barras	219
4.6 Proteção e cobrimento	221
4.7 Análise da fissuração em peças de concreto armado	222
4.7.1 Abertura máxima de fissuras	223
4.7.2 Controle da fissuração através da limitação da abertura estimada das fissuras.....	224
4.7.3 Controle da fissuração sem a verificação da abertura de fissuras.....	225
4.8 Verificação do estado limite de deformação excessiva.....	226

4.8.1 Deslocamentos limites	227
4.8.2 Cálculo de deslocamentos em vigas.....	229
4.8.2.1 Características geométricas de seções no estádio I.....	232
4.8.2.2 Características geométricas de seções no estádio II	236
4.8.2.3 Efeito da fissuração – modelo simplificado de Branson para flecha imediate.....	238
4.8.2.4 Efeito da fluência do concreto – avaliação da flecha diferida no tempo	241
Adendo.....	266

CAPÍTULO 5

DETALHAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL AO LONGO DA

VIGA.....	269
5.1 Introdução	269
5.2 Quantidade de armadura longitudinal necessária ao longo da viga	270
5.3 Ancoragem por aderência da armadura longitudinal	274
5.3.1 Aderência entre concreto e aço.....	275
5.3.1.1 Determinação da tensão de aderência.....	276
5.3.1.2 Verificação da aderência entre concreto e armadura.....	278
5.3.1.3 Regiões favoráveis ou desfavoráveis quanto à aderência	278
5.3.1.4 Valores das resistências de aderência	279
5.3.2 Ancoragem das barras.....	280
5.3.2.1 Comprimento básico de ancoragem	280
5.3.2.2 Comprimento necessário de ancoragem	282
5.3.2.3 Armadura transversal na ancoragem.....	283
5.3.2.4 Ancoragem de estribos	284
5.3.3 Ganchos de ancoragem nas extremidades das barras.....	284
5.3.3.1 Ganchos da armadura de tração.....	284
5.3.3.2 Ganchos dos estribos	289
5.4 Emendas de barras.....	290
5.4.1 Proporção das barras emendadas.....	291
5.4.2 Comprimento de traspasse de barras isoladas	292
5.4.3 Armadura transversal nas emendas por traspasse, em barras isoladas.....	293

5.5 Deslocamento do diagrama de momentos fletores (decalagem) ..	295
5.5.1 Deslocamento do diagrama de momentos fletores de acordo com o modelo I.....	299
5.5.2 Deslocamento do diagrama de momentos fletores de acordo com o modelo II	300
5.6 Ancoragem da armadura de tração junto aos apoios.....	301
5.7 Continuidade viga-pilar.....	302
5.8 Determinação do comprimento das barras longitudinais de acordo com a NBR 6118:2023	303
5.8.1 Comprimento inicial de barras negativas e positivas (duas situações possíveis)	308
5.8.2 Simplificações no diagrama de forças para detalhar a armadura longitudinal.....	310
5.9 Furos e aberturas em vigas	330
5.9.1 Furos que atravessam as vigas na direção da sua largura.....	331
5.9.2 Furos que atravessam as vigas na direção da altura.....	331
5.9.3 Canalizações embutidas	332
Adendo	333

CAPÍTULO 6

CISALHAMENTO: CÁLCULO DA ARMADURA TRANSVERSAL	335
6.1 Introdução	335
6.2 Tensões normais e tangenciais em uma viga	338
6.3 Tensões principais.....	341
6.4 Analogia de treliça de Morsch.....	344
6.4.1 Funcionamento básico e elementos constituintes.....	345
6.4.2 Cálculo da armadura transversal.....	347
6.5 Verificação das bielas de concreto comprimidas com a treliça clássica.....	352
6.6 Treliça generalizada de Morsch	356
6.7 Estado limite último de elementos lineares sob força cortante (ABNT NBR 6118:2023)	357
6.7.1 Hipóteses básicas	357
6.7.2 Verificação do estado limite último	357
6.7.2.1 Modelo de cálculo I.....	358
6.7.2.2 Modelo de cálculo II.....	362

6.8 Prescrições para o detalhamento da armadura transversal.....	366
6.8.1 Quantidade mínima de estribos	367
6.8.2 Características dos estribos.....	368
6.8.3 Constituição da armadura transversal.....	369
6.8.4 Espaçamento entre elementos da armadura transversal.....	369
6.8.5 Cargas próximas aos apoios.....	370
Adendo	377
Expressões para a análise de tensões na flexão simples no estágio I (seções 6.2 e 6.3)	377
Expressões para a análise de cortante com a treliça clássica de Morsch (seções 6.4 e 6.5)	378
Expressões para a verificação do estado limite último (seção 6.7.2)	379
Expressões relativas ao modelo de cálculo I (seção 6.7.2.1).....	379
Expressões relativas ao modelo de cálculo II (seção 6.7.2.2)	380
Valores das forças cortantes (kN) resistidas por armadura transversal mínima (seção 6.8.1)	381
Espaçamentos mínimos e máximos para armadura transversal (seção 6.8.4)	381

CAPÍTULO 7

PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS COM LAJES MACIÇAS	383
7.1 Introdução	383
7.2 Métodos de cálculo.....	385
7.3 Método elástico	386
7.3.1 Hipóteses de cálculo.....	387
7.3.2 Equação fundamental.....	388
7.3.3 Processos de resolução.....	390
7.3.4 Cálculo por diferenças finitas	390
7.3.5 Processo dos elementos finitos	390
7.3.6 Processo de grelha equivalente	391
7.3.7 Determinação de esforços e deslocamentos por meio de séries	392
7.3.7.1 Fundamentos do processo.....	393
7.3.7.2 Utilização de quadros.....	395
7.3.7.2.1 Determinação de flechas.....	396
7.3.7.2.2 Determinação dos momentos máximos nas direções x e y.....	398
7.4 Roteiro para o cálculo de lajes de concreto armado.....	406

7.4.1 Discretização do pavimento	407
7.4.2 Pré-dimensionamento da altura das lajes	408
7.4.3 Cálculo das cargas atuantes	409
7.4.4 Verificação das flechas	410
7.4.5 Cálculo dos momentos.....	410
7.4.6 Determinação das armaduras longitudinais.....	411
7.4.7 Reação das lajes nas vigas	411
7.4.8 Verificação de lajes ao cisalhamento	416
7.4.8.1 Lajes sem armadura para força cortante.....	417
7.4.8.2 Lajes com armadura para força cortante	418
7.4.9 Aberturas em lajes	418
7.4.10 Vãos efetivos de lajes e placas	419
7.4.11 Detalhamento das armaduras	420
7.4.11.1 Espaçamento entre barras	420
7.4.11.2 Armaduras longitudinais máximas e mínimas	421
7.4.11.3 Armadura de distribuição e secundária de flexão	422
7.4.11.4 Espaçamento e diâmetro máximo.....	422
7.4.11.5 Quantidade e comprimentos mínimos de armaduras em bordas livres e aberturas	422
7.4.11.6 Armadura de tração sobre os apoios	423
7.4.11.7 Armadura nos cantos de lajes retangulares e outras recomendações.....	424
Adendo.....	442

ANEXO I

DIMENSIONAMENTO À FLEXÃO DE LAJES NERVURADAS

UNIDIRECIONAIS CONTÍNUAS COM VIGOTAS PRÉ-MOLDADAS	445
A1.1 Determinação da altura mínima na seção do apoio.....	447
A1.2 Consideração de trecho maciço junto ao apoio.....	448
A1.3 Uso de armadura dupla para garantir ductilidade	449
A1.4 Uso da redistribuição de momento	449
A1.5 Plastificação	449

ANEXO 2

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CÁLCULO DE LAJES MACIÇAS COM

ANALOGIA DE GRELHA	463
A2.1 Introdução	463
A2.2 Processo de analogia de grelha.....	464
A2.3 Situações analisadas	465
A2.4 Considerações finais	471
REFERÊNCIAS	473