

## 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