

Caixa Econômica Federal

CAIXA

Engenheiro Civil

NV-004NB-25-CAIXA-ENG-CIVIL



SUMÁRIO

GEOTECNIA E OBRAS DE TERRA	11
■ TOPOGRAFIA.....	11
■ MECÂNICA DOS SOLOS.....	11
■ OBRAS DE TERRA.....	12
■ OBRAS DE CONTENÇÃO.....	13
■ FUNDAÇÕES	13
TIPOS, PROJETO, DETALHAMENTO, EXECUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO E VERIFICAÇÃO	13
■ TERRAPLENAGEM: CORTE, ATERRO E COMPACTAÇÃO	14
■ JAZIDAS E BOTA FORA.....	15
■ EQUIPAMENTOS PARA TRANSPORTE, DESMONTE E COMPACTAÇÃO DE SOLO	16
 MATERIAIS E TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO.....	25
■ MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	25
■ CONTROLE TECNOLÓGICO	29
■ TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES	30
■ INSTALAÇÕES PROVISÓRIAS E CANTEIROS DE OBRAS	32
■ RECEBIMENTO, CONTROLE E ARMAZENAMENTO DE MATERIAIS.....	33
■ SISTEMAS CONSTRUTIVOS PREDIAIS E INDUSTRIAIS	34
■ PATOLOGIA, MANUTENÇÃO, MELHORIAS, REFORMAS E RETROFIT DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E COMERCIAIS – RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.....	37
 PROJETOS E INSTALAÇÕES	45
■ PROJETOS E ESPECIFICAÇÕES DE OBRAS CIVIS PREDIAIS, INDUSTRIAIS, DE ESTRUTURAS E DE INSTALAÇÕES	45
■ INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA, ELETRICIDADE, ESGOTO, GÁS E ÁGUAS PLUVIAIS	46
■ INSTALAÇÕES DE COMBATE A INCÊNDIO.....	58
■ OBRAS DE ARTE ESPECIAIS NA ENGENHARIA CIVIL.....	61
■	

ESTRUTURAS.....	67
■ ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, METÁLICAS E MISTAS	67
PROJETO, DETALHAMENTO, EXECUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO E VERIFICAÇÃO	67
■ MECÂNICA E ANÁLISE DAS ESTRUTURAS.....	75
ORÇAMENTO, PLANEJAMENTO, MEDIÇÃO, FISCALIZAÇÃO E CONTROLE DE OBRAS.....	99
■ ORÇAMENTO DE OBRAS E SERVIÇOS: COMPOSIÇÃO DE CUSTOS, ORÇAMENTAÇÃO, BDI (BONIFICAÇÃO E DESPESAS INDIRETAS) E ENCARGOS SOCIAIS INCIDENTES EM ORÇAMENTOS DE OBRAS.....	99
■ PLANEJAMENTO, GERENCIAMENTO E GESTÃO DE OBRAS CIVIS	100
■ CRONOGRAMAS FÍSICO-FINANCEIROS	101
GANTT	101
PERT	101
CURVAS E GRÁFICOS	102
E FLUXO DE CAIXA.....	102
■ ACOMPANHAMENTO E CONTROLE FÍSICO E FINANCEIRO DE OBRAS E SERVIÇOS.....	102
■ LICITAÇÕES E CONTRATOS.....	103
■ CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO DE OBRAS E PAGAMENTO	103
■ FISCALIZAÇÃO DE OBRAS E SERVIÇOS.....	104
AJUSTES, ADITIVOS, REAJUSTAMENTO E REEQUILÍBRIO ECONÔMICO-FINANCEIRO.....	105
VISTORIAS, INSPEÇÕES, PERÍCIAS, PARECERES E LAUDOS, RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS E DE EDIFICAÇÕES.....	106
ATUAÇÃO EM PERÍCIAS JUDICIAIS: ATRIBUIÇÕES E RESPONSABILIDADES DE PERITOS E ASSISTENTES, ELABORAÇÃO DE QUESITOS, OBRIGAÇÃO DE FAZER X OBRIGAÇÃO DE PAGAR, ELABORAÇÃO DE PARECERES E LAUDOS	107
UNIDADES DO SISTEMA INTERNACIONAL (SI) DE MEDIDAS UTILIZADAS NA ENGENHARIA CIVIL	108
■ ACOMPANHAMENTO E APLICAÇÃO DE RECURSOS (VISTORIAS, EMISSÃO DE FATURAS, CONTROLE DE MATERIAIS)	108
■ SISTEMA DE GESTÃO DA QUALIDADE.....	109
■ PRODUTIVIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL	110
■ ORÇAMENTO E CRONOGRAMA PARA LICITAÇÕES PÚBLICAS	111

AVALIAÇÃO IMOBILIÁRIA	121
■ AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS DA CAIXA E DE TERCEIROS COM BASE NA NBR 14.653, PARTES 1, 2, 3 E 4.....	121
URBANOS	121
RURAIS	121
■ PRODUTO IMOBILIÁRIO	122
■ PLANO DE NEGÓCIOS E COMERCIALIZAÇÃO	123
■ ESTUDOS DE VIABILIDADE	123
■ INCORPORAÇÃO IMOBILIÁRIA	124
■ PARCELAMENTO DO SOLO: LOTEAMENTO E DESMEMBRAMENTO.....	124
■ APROVAÇÃO, REGISTROS E LICENÇAS NECESSÁRIOS EM EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS	125
■ CONHECIMENTO DE TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS A PARTIR DE ACESSO A PLATAFORMAS DE VENDAS DE IMÓVEIS URBANOS E RURAIS	126
■ NOÇÕES DE UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS E MODELAGENS	126
PAVIMENTAÇÃO, VIAS, TRANSPORTE E MOBILIDADE.....	131
■ MATERIAIS PARA PAVIMENTAÇÃO	131
■ PROJETO E EXECUÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E RÍGIDOS.....	131
ESPECIFICAÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS.....	131
■ CONTROLE TECNOLÓGICO DE PAVIMENTAÇÃO.....	132
■ PATOLOGIA E MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS	132
■ DRENAGEM SUPERFICIAL E PROFUNDA	132
■ GEOMETRIA DE VIAS URBANAS, ESTRADAS E RODOVIAS E SEGURANÇA RODOVIÁRIA	132
■ VISTORIA, RECUPERAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS.....	133
■ VIAS VICINAIS	134
■ SINALIZAÇÃO VIÁRIA	135
■ OBRAS DE ARTE ESPECIAIS	137
■ TRANSPORTE E MOBILIDADE	140

INTERMODALIDADE DE TRANSPORTE COLETIVO MOTORIZADO DE PASSAGEIROS E TRANSPORTE DE MASSA (METRÔ, TREM, ÔNIBUS) E MODAIS NÃO MOTORIZADOS E INDIVIDUAIS (BICICLETA E PEDONAL)	140
■ ESTUDOS DE VIABILIDADE EM MOBILIDADE E INFRAESTRUTURA	140
SUSTENTABILIDADE, ACESSIBILIDADE E CONFORTO	147
■ SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	147
■ CONFORTO TÉRMICO, ACÚSTICO E LUMÍNICO.....	147
■ QUALIDADE AMBIENTAL E NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	148
■ ENERGIA FOTOVOLTAICA	148
PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO, INTEGRAÇÃO COM EDIFICAÇÕES E INFRAESTRUTURA URBANA, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E IMPACTO AMBIENTAL	148
■ ACESSIBILIDADE A EDIFICAÇÕES, ESPAÇOS E EQUIPAMENTOS URBANOS.....	149
NBR 9.050	149
■ DESEMPENHO DAS CONSTRUÇÕES.....	150
NBR 15.575, PARTES 1 A 6	150
HIDRÁULICA, HIDROLOGIA E SANEAMENTO	153
■ HIDRÁULICA	153
■ HIDROLOGIA	156
■ SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	159
■ TRATAMENTO DE ÁGUA.....	160
■ SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	162
■ TRATAMENTO DE ESGOTO	164
■ DRENAGEM: SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA (MACRODRENAGEM E MICRORRENAGEM)	165
■ COLETA, TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	167
■ ATERRO SANITÁRIO	168
PROJETO, DETALHAMENTO, EXECUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO E VERIFICAÇÃO	168
■ MARCO REGULATÓRIO DO SANEAMENTO	169
■ ESTUDOS DE VIABILIDADE EM SANEAMENTO	172

INFORMÁTICA APLICADA À ENGENHARIA.....	177
■ DOMÍNIO DAS FERRAMENTAS DE PLANILHAS.....	177
PROGRAMA EXCEL, VERSÕES A PARTIR DE 2013	177
■ DOMÍNIO DO PROGRAMA AUTOCAD.....	186
VERSÕES A PARTIR DE 2018.....	187
DEMAIS SOFTWARES QUE UTILIZAM METODOLOGIA CAD (PROJETO ASSISTIDO POR COMPUTADOR) E BIM (MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO)	187
GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO	188
■ LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO: SINTAXE BÁSICA E ESTRUTURAS DE CONTROLE	188
MANIPULAÇÃO DE DADOS SIMPLES, FUNDAMENTOS DE PROGRAMAÇÃO ORIENTADA A OBJETOS E NOÇÕES DE PHYTON E JAVASCRIPT	188
■ NOÇÕES DE BANCO DE DADOS	207
CONCEITOS BÁSICOS DE BANCOS DE DADOS RELACIONAIS; COMANDOS SQL BÁSICOS (SELECT, INSERT, UPDATE, DELETE); CRIAÇÃO E MANIPULAÇÃO DE TABELAS; CONSULTAS SIMPLES E USO DE CLÁUSULAS WHERE	207
■ FUNDAMENTOS DE IA APLICADA A ENGENHARIA.....	211
■ NOÇÕES DE PLATAFORMAS DE COMPUTAÇÃO EM NUVEM.....	211
AWS (AMAZON WEB SERVICES)	212
AZURE.....	212
GOOGLE CLOUD	213
SEGURANÇA DO TRABALHO E ERGONOMIA.....	221
■ SEGURANÇA DO TRABALHO E ERGONOMIA.....	221
■ NORMAS REGULAMENTADORAS DO MINISTÉRIO DO TRABALHO APLICÁVEIS À ENGENHARIA CIVIL	229
LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	235
■ LEI 14.133/2021 (LEI DE LICITAÇÕES) E SUAS ALTERAÇÕES	235
■ LEI Nº 13.303/2016 (LEI DAS ESTATAIS) E SUAS ALTERAÇÕES	287
■ LEI 11.079/2004 (LEI DAS PPPS) E SUAS ALTERAÇÕES	313
■ DECRETO 7.983/2013 E SUAS ALTERAÇÕES	316
■ NORMAS BRASILEIRAS DA ABNT APLICÁVEIS À ENGENHARIA CIVIL.....	321

■ LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E LEGISLAÇÃO CORRELATA	323
LICENCIAMENTO AMBIENTAL - LEI N° 6.938/1981 E ATUALIZAÇÕES (POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE): GESTÃO, MONITORAMENTO E FISCALIZAÇÃO AMBIENTAL	323
RESOLUÇÃO CONAMA N° 237/1997	335
LEI COMPLEMENTAR N° 140/2011 E ATUALIZAÇÕES.....	339
■ POLÍTICA URBANA	354
LEI N° 10.257/2001 (ESTATUTO DA CIDADE) E SUAS ATUALIZAÇÕES	354
CARTA BRASILEIRA DAS CIDADES INTELIGENTES.....	366
LOCAÇÃO SOCIAL	366
HABITAÇÃO DE RENDA MISTA.....	367
HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL.....	367
REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA (LEI N° 13.465, DE 11/7/2017)	367
URBANIZAÇÃO DE FAVELAS E COMUNIDADES PERIFÉRICAS	376
■ INFRAESTRUTURA.....	376
POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO	376
POLÍTICA NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO, TRANSPORTES E HABITAÇÃO	383
POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	383
LEI N° 11.488/2007 E ALTERAÇÕES (CRIA O REGIME ESPECIAL DE INCENTIVOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA - REIDI).....	398
INFRAESTRUTURA DE ENERGIA ELÉTRICA: DESENVOLVIMENTO DA INFRAESTRUTURA, COMPARTILHAMENTO DE INFRAESTRUTURA DE DISTRIBUIÇÃO E TRANSMISSÃO	401
DECLARAÇÃO DE UTILIDADE PÚBLICA – DUP.....	401
POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS (LEI N° 12.334/2010 E ALTERAÇÕES).....	402
■ SAÚDE E SEGURANÇA.....	411
PORTARIA N° 3.214/1978 DO MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO	411
RESPECTIVAS NORMAS REGULAMENTADORAS DE SEGURANÇA E SAÚDE DO TRABALHO E SUAS ALTERAÇÕES	411
■ REGULAMENTAÇÃO DA PROFISSÃO DE ENGENHEIRO CIVIL, SEGUNDO SISTEMA CONFEA/CREA, INCLUINDO AS ATRIBUIÇÕES PREVISTAS EM LEI, INCLUINDO REGIMENTOS, RESOLUÇÕES, INSTRUÇÕES NORMATIVAS, CÓDIGO DE ÉTICA E DISCIPLINA, E LEIS FEDERAIS CONCERNENTES À ATIVIDADE PROFISSIONAL	465
■ ESTUDO E RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA/RIMA)	467
■ MEDIDAS MITIGADORAS	471
■ RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	472

ESTRUTURAS

ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO, METÁLICAS E MISTAS

PROJETO, DETALHAMENTO, EXECUÇÃO, CONTROLE TECNOLÓGICO E VERIFICAÇÃO

Estruturas de Concreto Armado

A associação entre dois materiais distintos (concreto e aço) forma o sistema estrutural de concreto armado. Quando esses dois materiais são combinados, produzem um desempenho resistente superior ao que qualquer um deles poderia fornecer isoladamente. Esse conceito, embora hoje naturalizado nos cursos de engenharia, representa um avanço extraordinário no desenvolvimento tecnológico das edificações.

O concreto, por natureza, é um material altamente resistente à compressão, enquanto o aço possui elevada resistência à tração e excelente ductilidade. Quando unidos, os dois materiais compensam suas limitações recíprocas: o concreto protege o aço contra corrosão e instabilidade local, enquanto o aço impede que o concreto se rompa prematuramente quando solicitada a tração.

A aderência plena é o fator essencial para que o dado sistema atinja desempenho conjunto, posto que esse conceito é reforçado pela Norma Brasileira (NBR) nº 6.118, e exige compatibilidade de deformações entre aço e concreto, garantindo que ambos trabalhem em conjunto através da aderência química, física e mecânica. Segundo Leonhardt e Mönnig, a aderência é o “cimento invisível” que garante o funcionamento sinérgico do material composto.

O comportamento resistente do concreto armado sempre parte da suposição fundamental: “uma seção plana antes da deformação permanece plana após a deformação”. Essa hipótese de Bernoulli, adotada explicitamente pela NBR nº 6.118, sustenta todo o cálculo de flexão simples e composta.

Propriedades Mecânicas do Concreto

O concreto é um material compósito constituído basicamente por cimento, agregados (miúdos e graúdos), água e, eventualmente, aditivos e adições minerais. Sua resistência mecânica decorre da hidratação do cimento e do entrelaçamento físico entre pasta e agregado. Entretanto, diferentemente do aço, o concreto apresenta comportamento altamente não linear, sendo frágil à tração e sensível a efeitos reológicos como fluência e retração.

Destarte, a NBR nº 6.118 define a resistência característica à compressão (f_{ck}) como referência central. A resistência influencia o dimensionamento e, apesar de ser possível empregar concretos de alta resistência (f_{ck} acima de 50 MPa), a ductilidade deve sempre ser preservada nos elementos estruturais solicitados à flexão.

Essa preocupação também aparece fortemente em estudos científicos, como os de Neville (2012) e Mehta e Monteiro (2006), que identificam que o uso de agregados apropriados, relação a/c controlada e cura adequada impactam diretamente o módulo de elasticidade e a resistência final do concreto.

Diagrama Tensão–Deformação do Concreto, Fluência e Retração

A NBR nº 6.118 apresenta o diagrama parábola-retângulo, com deformação última de compressão de $\epsilon_{cu} = 3,5\%$ (podendo chegar a 2,7%, conforme a classe de concreto). Destaca-se, também, que a forma do diagrama influencia o cálculo dos esforços resistentes de flexão e compressão, constituindo a base para a determinação da força de compressão no bloco comprimido.

O texto normativo e as principais referências acadêmicas afirmam que a fluência reduz a rigidez estrutural ao longo do tempo, provocando redistribuição de momentos e aumentando deformações. Já a retração, sobretudo a autógena em concretos de alta resistência, pode gerar fissuras caso o detalhamento não seja adequado.

Propriedades do Aço para Armadura

É certo dizer que o aço utilizado em concreto armado deve apresentar alta resistência à tração, boa ductilidade e aderência adequada ao concreto. São tipos usuais de aço o CA-50 e o CA-60, com diagrama tensão–deformação característico, de modo que possuem a importância do patamar de escoamento para o comportamento dúctil do elemento estrutural. A NBR nº 7.480 regulamenta os requisitos mecânicos, químicos e geométricos do aço para armaduras.

Autores como Pinheiro explicam que o escoamento do aço é o mecanismo fundamental para a redistribuição de momentos e para a absorção de energia, sendo indispensável para a segurança estrutural nas situações de flexão e flexo-compressão. Já em estruturas metálicas, a ductilidade assume outras funções, mas, no concreto armado, ela é o fator que impede o colapso frágil.

Teoria da Flexão: Comportamento e Dimensionamento

A flexão constitui o fenômeno estrutural mais presente nas peças de concreto armado, encontrando-se nas vigas, nas lajes, nas passarelas, nas vigas de transição, nas longarinas de pontes, nas travessas de viadutos e até mesmo em pilares submetidos a flexo-compressão.

● A Hipótese de Bernoulli

A suposição de que seções planas permanecem planas após a deformação é a base para todo o cálculo da flexão. Essa hipótese, adotada integralmente pela NBR nº 6.118 e também pelos códigos internacionais (como o Eurocode 2 e o ACI 318), não é apenas uma convenção matemática, mas, sim, a tradução de um comportamento real do concreto armado, no qual não há escorregamento apreciável entre concreto e aço devido à aderência.

Por meio dessa hipótese, a distribuição de deformações ao longo da seção torna-se linear, permitindo definir a posição da linha neutra (x). Uma vez estabelecida a variação de deformações, os diagramas tensão-deformação do concreto e do aço podem ser integrados para determinar as forças internas resultantes.

● Estados-Limite Últimos e a Relação Entre Deformações Extremas

A NBR nº 6.118 fixa as deformações máximas de cálculo para o concreto no topo comprimido e para o aço na zona tracionada:

- $\epsilon_{cu} = 3,5\%$ para concretos até classe C50;
- $\epsilon_y \approx f_y / E_s \approx 2,5\%$ para aços CA-50.

Esses valores são indispensáveis porque definem o início da plastificação da armadura e o esmagamento do concreto. Na prática, isso estabelece dois modos fundamentais de ruptura:

- **Seção subarmada (ductilidade garantida):** há escoamento da armadura antes do esmagamento do concreto. É a ruptura desejável, pois fornece avisos estruturais (fissuras, deformações excessivas) e ocorrência de redistribuição de momentos;
- **Seção superarmada (ruptura frágil):** o concreto esmaga antes que o aço escoe. A NBR nº 6.118 proíbe seções superarmadas.

● O Bloco Comprimido e o Modelo Parábola-Retângulo

A resistência à compressão do concreto não é uniforme. A NBR nº 6.118 adota o diagrama equivalente parábola-retângulo, sintetizado como:

Ele também é sintetizado como:

Essas fórmulas surgem de integrações rigorosas do diagrama real, cujo formato se apresenta em curvas reais e idealizadas da resistência à compressão. Esse modelo é fundamental porque transforma a análise não linear em um cálculo manejável e confiável.

● O Conceito de Domínios

Uma contribuição profunda da teoria do concreto armado é a separação das regiões de deformação em domínios de cálculo, definidos pela NBR nº 6.118.

Os principais domínios são:

- **Domínio 2:** tração total sem plastificação plena do aço;
- **Domínio 3:** regime ideal, aço escoa, e concreto comprimido em limite adequado;
- **Domínio 4:** concreto com esmagamento, armadura tracionada plastificada;
- **Domínio 5:** compressão total (importante para pilares).

O domínio 3 é o **mais desejável** para flexão simples.

● Momento Resistente Último

Dado x , a resistência final é:

$$M_{Rd} = A_s f_{yd} (d - 0,4x)$$

Se o momento solicitante M_d for maior que M_{Rd} , será necessário aumentar armadura, aumentar seção ou modificar o esquema estrutural.

● Flexão Simples: Exemplo Numérico Completo

Para melhor entendimento, considere uma viga simplesmente apoiada, carregada principalmente por ações permanentes e variáveis típicas do uso residencial:

- largura — $b = 20$ cm;
- altura total — $h = 60$ cm;
- altura útil — $d = 55$ cm;
- $f_{ck} = 30$ Mpa;
- aço CA-50;
- momento solicitante de cálculo — $M_d = 120$ kN/m.

Para a determinação da linha neutra, o cálculo começa definindo:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{Y_c} = \frac{30}{1,4} = 21,4$$

Supondo que a seção seja subarmada, assumimos que o aço escoa:

$$\vartheta_s = \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ Mpa}$$

O equilíbrio interno exige:

$$A_s = \frac{0,85 f_{cd} b x}{f_{yd}}$$

Mas o termo x ainda é desconhecido. Para encontrá-lo, usa-se a equação do momento resistente:

$$M_{Rd} = 0,85 f_{cd} b x (d - 0,4x)$$

Substituindo os valores:

Resolvendo essa equação quadrática, obtém-se: $\approx 10,2$ cm, um valor compatível com vigas usuais.

Agora, calculemos a armadura. Vejamos:

$$A_s = \frac{0,85 \cdot (21,4) \cdot (20) \cdot (10,2)}{435}$$

Isso corresponde, por exemplo, a:

- duas barras de 16 mm + uma barra de 12,5 mm;
- ou
- três barras de 16 mm (superdimensionamento leve, aceitável para execução).

● Flexo-Compressão e Pilares

Todo pilar real está submetido a um esforço normal (N) e a um momento fletor (M). Mesmo quando projetado para compressão centrada, pequenas excentricidades inevitáveis de execução, imperfeições geométricas e deslocamentos laterais do edifício introduzem momentos secundários.

A NBR nº 6.118 reconhece isso ao exigir que toda compressão seja tratada como flexo-compressão a menos que condições altamente específicas

comprovem o contrário. Ademais, a compreensão pura é rara e exige uma interação constante entre N e M para a determinação da resistência do pilar.

Diane da curva de interação N-M, temos que o modelo resistente de pilares não é linear, posto que as curvas de interação, apresentadas em inúmeras obras — como em Park e Paulay (1975), em MacGregor (1997) e no CEB-FIP (1990) —, são compostas por regiões:

- compressão dominada;
- regime misto;
- flexão dominada.

No regime de compressão elevada, o concreto assume papel predominante; no regime de flexão, a armadura tracionada limita a resistência. Para tanto, a curva é obtida resolvendo-se combinações simultâneas de:

$$N_{Rd} = F_c + F_s$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot Z_c + F_s \cdot Z_s$$

Na equação, cada força depende da profundidade da linha neutra.

Os efeitos de segunda ordem ($P - \Delta$ e $P - \delta$) acontecem quando o pilar é esbelto ($\lambda > 90$, tipicamente), e deformações laterais amplificam os momentos fletores. A NBR nº 6.118 exige:

- método do α ; ou
- análise $P - \Delta$ rigorosa; ou
- modelo de coluna equivalente.

Nesse sentido, o efeito de segunda ordem pode aumentar o momento solicitante em até 50%, dependendo da esbeltez e do carregamento. Considere:

- pilar de 25 cm x 40 cm;
- $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$;
- CA-50;
- $N_{sd} = 900 \text{ kN}$;
- $M_{sd} = 60 \text{ kN/m}$.

Para a primeira verificação — capacidade de compressão pura —, temos:

$$N_{Rd,max} \approx f_{cd} \cdot A_c + A_s \cdot f_{yd}$$

Para área de concreto:

$$A_c = 1.000 \text{ cm}^2$$

$$f_{cd} = 21,4 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd,max} \approx 2.140 \text{ kN}$$

Portanto, o pilar suporta o esforço normal, mas isso ainda não garante segurança, pois o momento pode reduzir drasticamente a capacidade resistente.

Já diante da segunda verificação — flexo-compressão —, supõe-se um valor inicial de linha neutra = 10 cm, calcula-se o diagrama tensão-deformação, equilibra-se forças e ajusta-se x até alcançar equilíbrio:

$$N_{Rd}(x) = N_{sd}$$

$$M_{Rd}(x) = M_{sd}$$

Repetindo o processo iterativo até a convergência, obtém-se:

$$x \approx 14 \text{ cm}$$

O valor é correspondente a:

$$M_{Rd} \approx 76 \text{ kN/cm}$$

Como $76 > 60$, o pilar é seguro para flexo-compressão, desde que a segunda ordem seja verificada.

Cisalhamento e Torção

O cisalhamento é um dos fenômenos mais complexos e menos intuitivos do comportamento das estruturas de concreto armado, tanto do ponto de vista físico quanto do ponto de vista matemático.

Diferentemente da flexão — que pode ser representada confortavelmente por diagramas lineares e hipóteses claras de distribuição de deformações —, o cisalhamento resulta da formação de um campo de tensões tridimensional, em que as trajetórias de compressão e tração se cruzam, gerando esforços que rompem o concreto em direções diagonais.

O tema apresenta os conceitos fundamentais do modelo de treliça e discute a importância da armadura transversal na resistência ao esforço cortante, especialmente ao analisar vigas com diferentes relações entre a altura útil e o comprimento do vão, além de introduzir a noção de tensão tangencial distribuída e a formação de bielas comprimidas e tirantes tracionados.

Esses elementos constituem o núcleo da abordagem moderna, que a NBR nº 6.118 consolidou em seu capítulo dedicado ao cisalhamento e à torção, incorporando resultados experimentais e teóricos dos últimos 50 anos.

Ademais, o cisalhamento nasce da invariabilidade geométrica do campo de tensões na flexão. Quando uma viga é solicitada por momentos fletores, surgem gradientes de tensão que naturalmente produzem tensões tangenciais. Assim, o cisalhamento não é um fenômeno independente da flexão, mas, sim, a consequência direta da variação longitudinal do momento fletor, sendo máximo onde a derivada do momento é máxima, tipicamente próximo aos apoios.

Além disso, o cisalhamento contribui para a formação de fissuras inclinadas, que aparecem geralmente com inclinação entre 30° e 45° , dependendo da taxa de armadura longitudinal, da resistência do concreto, do nível de compressão longitudinal e da deformação da peça.

A compreensão moderna do cisalhamento está cimentada em três pilares teóricos: a teoria de Mohr-Coulomb, a treliça de Ritter-Mörsch e o modelo de compressão inclinada (MCFT — *modified compression field theory*).

A NBR nº 6.118 utiliza uma versão adaptada da treliça clássica, mas reconhece o MCFT de Vecchio e Collins como base conceitual moderna, especialmente porque esse modelo avalia a interação entre fissuração diagonal, deformações de compatibilidade e rotação das bielas comprimidas.

Nesse sentido, o modelo de treliça equivale a imaginar que a viga fletida com cisalhamento atua como um conjunto de bielas de concreto comprimidas e tirantes tracionados (estribos), formando uma treliça

metálica invisível. Assim, a biela comprimida substitui os elementos comprimidos da treliça, e os estribos representam os tirantes tracionados.

No momento em que surgem fissuras inclinadas atingindo a alma da viga, o concreto deixa de resistir ao cisalhamento sozinho, e os estribos entram efetivamente em ação.

A resistência ao cisalhamento é composta por duas parcelas: a resistência oferecida pelo concreto (V_c) e a resistência oferecida pelos estribos (V_s). A NBR nº 6.118 apresenta equações empíricas e semimecânicas baseadas em centenas de ensaios que resultam na relação $V_R d = V_c + V_s$.

A parcela V_c representa a tensão diagonal resistida pelo concreto, que é influenciada pela taxa de armadura longitudinal. Quanto maior a tração na armadura inferior, menor a inclinação da fissura e menor a resistência do concreto. Por isso, vigas com baixas taxas de aço longitudinal apresentam maior resistência ao cisalhamento, fenômeno observado experimentalmente.

Já o termo V_s é fornecido pelos estribos, que são responsáveis por “costurar” as fissuras diagonais, impedindo sua propagação. A resistência oferecida pelos estribos é dada pela teoria da treliça:

$$V_s = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \cot\theta}{s}$$

Nela, θ é o ângulo da biela comprimida. A NBR nº 6.118 usualmente adota $\theta = 45^\circ$, mas permite ajustes entre 30° e 45° conforme modelos avançados.

As fissuras inclinadas evidenciam por que estribos são elementos indispensáveis: seu papel é impedir que as fissuras diagonais se desenvolvam a ponto de romper a alma da viga, já que o concreto é frágil sob cisalhamento.

Do ponto de vista experimental, pesquisas realizadas pelo CEB-FIP, pelo ACI Committee 445 e por laboratórios internacionais demonstram que o cisalhamento apresenta transição súbita após o escoamento dos estribos, tornando esse modo de ruptura altamente perigoso. Por isso, normas do mundo inteiro, incluindo a NBR nº 6.118, classificam a ruptura por cisalhamento como “ruptura frágil” e exigem que projetistas a evitem através de:

- estribos adequados;
- taxas mínimas de armadura;
- controle da rigidez da peça;
- manutenção de dimensões compatíveis com a carga;
- verificação da compressão na biela.

A torção, por sua vez, está intimamente ligada ao cisalhamento. Enquanto o cisalhamento se manifesta como força transversal, a torção gera tensões cisalhantes em toda a seção de forma espacial. A torção pode ser classificada como:

- torção de equilíbrio (quando o momento torsor é indispensável ao equilíbrio do sistema estrutural); ou
- torção de compatibilidade (quando decorre de rigidez relativa entre elementos).

A NBR nº 6.118 apresenta relações específicas para o dimensionamento de torção, baseadas na analogia do tubo fino: imagina-se que a peça se comporta como uma seção tubular, em que o cisalhamento atua em um caminho fechado ao longo do perímetro.

Assim, barras longitudinais e estribos resistem conjuntamente à torção, criando um fluxo de cisalhamento contínuo. De forma geral, o cálculo segue:

$$T_{Rd} = T_c + T_s$$

Na fórmula, T_s envolve barras longitudinais e transversais.

A torção também pode modificar o cisalhamento e a flexão, pois a interação entre esforços acopla tensões. Por esse motivo, as normas exigem que, quando os três esforços estiverem presentes simultaneamente, seja utilizado o modelo da treliça espacial, ajustando as contribuições resistentes em cada direção.

Esse fenômeno é particularmente crítico em vigas de borda, pontes curvas, caixões, baldrames excêntricos, vigas de transição irregulares e elementos que suportam cargas aplicadas fora do plano de simetria.

Detalhamento das Armaduras

O detalhamento é, para a engenharia estrutural, tão importante quanto o dimensionamento. Uma estrutura corretamente dimensionada pode falhar se mal detalhada. Em um aprofundamento profissional, é necessário que tratemos o detalhamento como ciência própria, inserida dentro da filosofia de ductilidade, durabilidade, construtibilidade e desempenho.

A função do detalhamento é operacionalizar o comportamento previsto no cálculo. Enquanto o dimensionamento fornece as áreas de aço, o detalhamento define:

- onde o aço deve ser colocado;
- como deve ser distribuído;
- como será ancorado;
- como será dobrado;
- como será emendado;
- como será protegido contra corrosão.

Sem isso, a estrutura não funciona como previsto. Autores como Leonhardt, Mönnig, Pinheiro e Beck destacam que o detalhamento é o campo em que matemática e realidade se encontram. A diferença entre ruptura dúctil e frágil depende, em grande parte, da qualidade do detalhamento.

Ancoragens e Comprimentos de Desenvolvimento

A ancoragem é o processo pelo qual a barra transfere sua força ao concreto ao longo de um trecho definido. O comprimento necessário para que uma barra mobilize sua resistência é chamado de **comprimento de desenvolvimento** e é expresso pela fórmula:

$$l_{bd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{t_{bd}}$$

A tensão de aderência t_{bd} depende:

- da classe de concreto;
- da qualidade superficial da barra;
- da posição da barra (inferior ou superior);

- do estado de fissuração.

É indispensável compreender que o concreto se fixa ao redor da barra e que falhas de ancoragem resultam no arrancamento do aço, um modo de ruptura catastrófico e abrupto.

Emendas das Armaduras

As barras podem ser emendadas por transpasse, solda ou, ainda, luvas mecânicas, em sistemas especiais. O traspasse é o mais comum.

A NBR nº 6.118 exige que as barras sejam emendadas alternadamente, evitando alinhamentos que produzam seções frágeis. A resistência da emenda depende da ancoragem mútua das barras, e seu comprimento é usualmente proporcional ao diâmetro da barra, variando entre 50 φ e 90 φ em concretos de resistência convencional.

Cobrimento

O cobrimento protege a armadura contra corrosão, garantindo a durabilidade, de modo que depende da classe de agressividade ambiental e é estritamente normatizado. A NBR nº 6.118 apresenta valores mínimos que podem chegar a 5 cm em ambientes muito agressivos. O cobrimento insuficiente está associado às patologias mais frequentes em concretos armados, como:

- corrosão generalizada;
- perda de seção das barras;
- fissuração paralela à superfície;
- destacamento do concreto.

Ainda nesse sentido, a disposição das barras segue critérios de compacidade, aderência, mobilização eficiente do esforço e viabilidade construtiva, uma vez que a NBR nº 6.118 fixa espaçamentos mínimos baseados no diâmetro da barra, no agregado graúdo e no processo de concretagem.

Nas vigas, o detalhamento adequado exige a colocação de barras negativas sobre os apoios, a distribuição densa de estribos nas regiões críticas e o controle rigoroso da distância interna entre banzos, garantindo que o fluxo de tensões decorrente da flexão e do cisalhamento seja devidamente transferido para as armaduras longitudinais e transversais.

Nas lajes, o comportamento bidirecional ou unidirecional demanda uma distribuição uniforme das barras, complementada pela colocação de armaduras superiores sobre os apoios e pela manutenção da continuidade da armadura nos pilares, evitando descontinuidades que comprometem a redistribuição dos momentos fletores e o controle da fissuração.

Já nos pilares, o desempenho adequado depende da utilização de estribos fechados, da amarração tridimensional das barras longitudinais e do confinamento eficaz do núcleo de concreto, assegurando resistência suplementar à compressão, capacidade de deformação e prevenção de flambagem local das barras longitudinais.

A literatura técnica, especialmente o Model Code 2010, enfatiza que o detalhamento constitui elemento central para a garantia da ductilidade global da estrutura, sendo decisivo para o comportamento das zonas plásticas e para a capacidade da estrutura de resistir a deformações significativas antes da ruptura.

I ESTRUTURAS METÁLICAS

As estruturas metálicas constituem um dos mais antigos sistemas estruturais conhecidos pela engenharia, mas, ao mesmo tempo, são o campo em que ocorrem alguns dos avanços tecnológicos mais rápidos da construção civil contemporânea.

A aplicação do aço como elemento estrutural reúne elevada resistência mecânica, grande capacidade de deformação, precisão geométrica e rapidez de execução, tornando-o um material amplamente empregado em edificações de médio e grande porte, galpões industriais, edifícios altos, pontes, passarelas, estruturas mistas e sistemas de grande esbeltez.

A engenharia estrutural moderna enxerga o aço não apenas como material, mas como um sistema, posto que se trata de um conjunto integrado de propriedades químicas, físicas, mecânicas e tecnológicas que interagem de modo complexo.

Essa visão é reforçada pelas normas internacionais, como:

- o Eurocode 3 (EN 1993), que trata o aço por meio de uma abordagem matricial envolvendo estados-limite resistentes, estabilidade, ligações e comportamento sob incêndio;
- o AISC 360, que define critérios de projeto baseados em resistência e em rigidez; e
- a NBR nº 8.800, de 2008, que regula o dimensionamento de estruturas de aço e mistas no Brasil.

Todas essas normas convergem para um ponto só: as estruturas metálicas são dominadas pela instabilidade, muito mais do que pela resistência do material em si.

Propriedades Mecânicas e Metalúrgicas do Aço Estrutural

O aço é uma liga metálica composta essencialmente de ferro e carbono, com teores variáveis desse último influenciando diretamente a resistência e ductilidade.

Minúsculas quantidades de manganês, silício, fósforo e enxofre são adicionadas ou controladas para modificar características de fabricação e comportamento mecânico. Assim, o processo metalúrgico — seja aço carbono, microaço ligado, aço patinável (COR-TEN) ou aço estrutural laminado — determina a forma final da curva tensão-deformação.

As normas brasileiras adotam a classificação dos aços estruturais pela resistência mínima ao escoamento: aço ASTM A36, A572, A588, entre outros, além dos equivalentes nacionais. O comportamento mecânico é dominado por uma curva tensão-deformação que apresenta:

- um trecho elástico linear (lei de Hooke);
- um patamar de escoamento (em muitos aços estruturais);
- um trecho de encruamento;
- um domínio plástico estabilizado; e
- a estrição (*necking*) até a ruptura.

A magnitude da resistência do aço é muito superior à do concreto, e a sua rigidez (módulo de elasticidade em torno de $E \approx 200$ GPa) é cerca de 10 vezes maior do que a do concreto.