

Sumário

Reforço de elementos estruturais de concreto com sistemas de polímeros reforçados com fibras (FRP) aplicado externamente

Parte A – PROJETO 1

1 INTRODUÇÃO 3

1.1 SISTEMAS DE REFORÇO EXTERNAMENTE ADERIDOS 5

1.1.1 Sistemas curados no local 5

1.1.2 Sistemas pré-fabricados 6

1.2 SISTEMAS CURADOS NO LOCAL 6

1.2.1 Sistema previamente impregnado 7

1.2.2 Sistema impregnado no local 7

1.3 SISTEMAS PRÉ-FABRICADOS 7

1.3.1 Sistemas pré-fabricados aderidos à superfície 7

1.3.2 Sistemas pré-fabricados inseridos no cobrimento do concreto 7

1.3.3 Sistemas pré-fabricados protendidos 7

1.4 SISTEMA DE CINTAMENTO 7

2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS COMPONENTES DO SISTEMA FRP 9

2.1 GERAL 9

2.2 FIBRAS CONTÍNUAS 9

2.2.1 Carbono	10
2.2.2 Vidro	10
2.2.3 Aramida	10
2.2.4 Basalto	11
2.2.5 Aço de alta resistência	11
2.2.6 Fibras vegetais	11
2.3 MATRIZES	12
2.4 POLÍMEROS REFORÇADOS COM FIBRA – FRP	12
2.5 ADESIVOS	14
2.6 CARACTERÍSTICAS À FLUÊNCIA	16
2.7 CARACTERÍSTICAS À FADIGA	16
3 DURABILIDADE DE SISTEMAS FRP	17
3.1 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	17
3.2 UMIDADE	21
3.3 TEMPERATURA ELEVADA	23
3.4 AMBIENTES ALCALINOS E CORROSÃO	24
4 PRINCÍPIOS DE PROJETO E ANÁLISE ESTRUTURAL	27
4.1 Princípios básicos	27
4.2 Estados limites	27
4.3 Ações e influência ambiental	28
4.3.1 Ações	28

4.3.2 Influência ambiental	28
4.4 Modos de ruptura no estado limite último sob ações estáticas	29
4.5 Capacidade de deformação no estado limite último	31
4.6 Verificação da estabilidade em caso de perda acidental de FRP	32
4.7 Efeito do reforço no comportamento geral da estrutura	32
4.8 Análise estrutural	32
4.9 Projeto e proteção contra incêndio	32
4.10 Coeficientes de ponderação	33
5 ADERÊNCIA	35
5.1 Modos de ruptura devido à perda de aderência	36
5.1.1 Descolamento na extremidade do FRP	36
5.1.2 Descolamento devido a fissuras intermediárias de flexão e força cortante	37
5.1.3 Descolamento devido a irregularidade na superfície da viga	38
5.2 Verificação de segurança com relação à perda de aderência	38
5.2.1 Comprimento efetivo de ancoragem	38
5.2.2 Resistência última de descolamento da extremidade da zona de ancoragem ...	41
5.2.2.1 Solução baseada na relação tensão-deslocamento bilinear	41
5.2.2.2 Solução baseada na abordagem “projeto por teste”	41
5.2.2.3 Resistência última de descolamento na região de fissuração intermediária	41
5.2.2.4 Método simplificado	42
5.2.2.5 Método preciso	42

6 DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU) DE ACORDO COM A CEB-FIP 90 (2019) ... 43

6.1 Geral	43
6.2 Reforço à flexão simples e composta pela técnica EBR	45
6.2.1 Descolamento entre fissuras intermediárias	45
6.2.2 Análise do descolamento de extremidade	46
6.2.2.1 Redução do FRP assumindo estado totalmente fissurado	46
6.2.2.2 Ancoragem de extremidade próximo do ponto de momento zero	47
6.2.2.3 Análise de descolamento em um elemento de concreto entre fissuras na extremidade do reforço	47
6.2.2.4 Ancoragem mecânica para o FRP	49
6.2.3 Reforço localizado	49
6.3 Reforço à flexão pela técnica NSM	50
6.3.1 Princípios básicos	50
6.3.2 Análise da capacidade à flexão	50
6.3.3 Decalagem do reforço com a análise da resistência última de aderência	51
6.4 REFORÇO A FORÇA CORTANTE	53
6.4.1 Princípios básicos	53
6.4.2 Análise da capacidade a força cortante	54
6.5 REFORÇO TRANSVERSAL PARA COMBATER O DESCOLAMENTO DO FRP LONGITUDINAL	
DEVIDO À FLEXÃO	58
6.6 REFORÇO AO MOMENTO TORSOR	61

7 DIMENSIONAMENTO NO ESTADO LIMITE ÚLTIMO (ELU) DE ACORDO COM ACI 440.2R (2017) 63

7.1 Deformação inicial do substrato	63
7.2 Ações e combinações de dimensionamento	64
7.3 Dimensionamento ao momento fletor	65
7.4 Dimensionamento à força cortante	67

8 PUNÇÃO 71

9 REFORÇO DE PILAR 73

9.1 Considerações iniciais	73
9.2 Lei constitutiva do pilar confinado por FRP	74
9.3 Dimensionamento do reforço de acordo com o FIB Bulletin 90 (2019)	75
9.3.1 Resistência à compressão do pilar reforçado	75
9.3.2 Pilares confinados	78
9.4 Dimensionamento do reforço de acordo com o ACI	79

10 VERIFICAÇÕES NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS) 81

10.1 Geral	81
10.2 Análise das tensões	82
10.2.1 Tensões nos elementos para reforço à flexão	82
10.2.2 Controle de tensões de acordo com FIB 90	83

10.2.3 Controle de tensões de acordo com a norma ACI 440.2R (2017)	84
10.3 Fissuração	85
10.3.1 Controle de abertura de fissuras para elementos de concreto armado reforçado externamente pelo método EBR	85
11 DETALHAMENTO DO SISTEMA DE REFORÇO	87
11.1 Especificações	87
11.2 Representação gráfica	89
11.3 Defasagem entre as camadas e ancoragem do reforço	92
12 TÉCNICAS DE APLICAÇÃO DO REFORÇO	95
12.1 Técnica SBR	95
12.2 Técnica NSM	97
12.3 FRP protendido	101
12.4 Técnica TRC	104
12.5 Técnica ETS	107
Parte B – CONTROLE DE QUALIDADE	109
13 CONTROLE DE QUALIDADE	111
13.1 Avaliação e preparo do substrato de concreto	111
13.1.1 Inspeção visual	111
13.1.2 Avaliação da resistência mecânica do substrato	112

13.1.3 Avaliação da corrosão da armadura	112
13.1.4 Avaliação da umidade na aplicação	113
13.1.5 Preparo do substrato	114
13.2 Especificação das resinas	115
13.3 Recomendações para aplicação do reforço de FRP	118
13.4 Sistemas de proteção e acabamentos	119
13.5 Ensaios de avaliação da aderência do FRP	120
13.5.1 Ensaio de arrancamento – Pull Off	120
14 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	123
15 REFERÊNCIAS	125