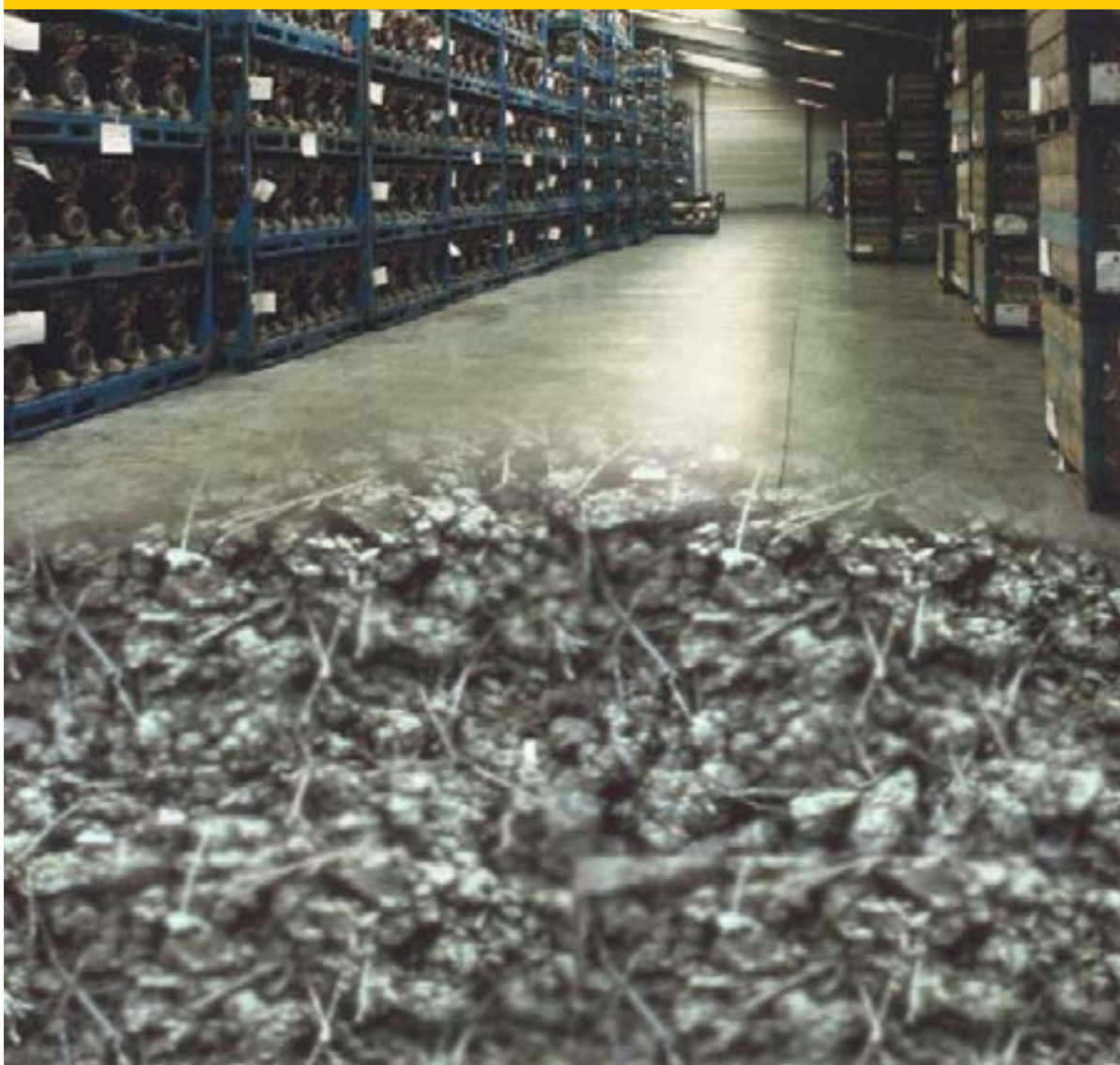


BETÃO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

APLICAÇÃO EM PAVIMENTOS INDUSTRIAIS



Luís Manuel Rocha Evangelista

EDIÇÃO:

CONSTRULINK PRESS

Construlink, SA
Tagus Park, - Edifício Eastecníca
2780-920 Porto Salvo, Oeiras

Tel . +351 214 229 970
apoio@construlink.com

Coordenador: Pedro Vaz Paulo
Editor: Tiago Relvão
Jorge Sequeira

A monografia apresentada
foi realizada na cadeira
de Tecnologia de Construção
de Edifícios do Mestrado em
Construção

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. O BRFA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	2
2.1. BETÃO	2
2.2. FIBRAS	5
2.3. CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DO BRFA	8
2.3.1. TRABALHABILIDADE	8
2.3.2. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	8
2.3.3. RESISTÊNCIA À TRACÇÃO	10
2.3.4. RESISTÊNCIA À FLEXÃO	10
2.3.5. RESISTÊNCIA AO CORTE	11
2.3.6. RETRACÇÃO E FLUÊNCIA	12
2.3.7. RESISTÊNCIA À FADIGA E IMPACTO	12
2.3.8. DURABILIDADE	13
2.4. APLICAÇÕES CORRENTES E FUTURAS	14
2.5. ENQUADRAMENTO NORMATIVO	15
3. O BRFA APLICADO EM PAVIMENTOS INDUSTRIAIS	17
3.1. PROCESSO CONSTRUTIVO	17
3.1.1. COMPOSIÇÃO PREFERENCIAL	17
3.1.2. PROCESSO DE FABRICO	18
3.1.3. PREPARAÇÃO DA BASE	19
3.1.4. APLICAÇÃO DO BRFA NO PAVIMENTO	21
3.2. CONTROLO DE QUALIDADE	25
3.3. PORMENORES CONSTRUTIVOS	26
3.3.1. JUNTAS	26
4. CONCLUSÕES	32

5. BIBLIOGRAFIA

33

Índice de Figuras

Figura 1 - Mecanismo de funcionamento das fibras	2
Figura 2 - Ábaco apresentado por Hanna [4] para ajuste da composição de um BRFA	3
Figura 3 - Proporções recomendadas pelo comité ACI544	4
Figura 4 – Alguns dos diferentes tipos de fibras	6
Figura 5 – Fibras agrupadas em plaquetas do tipo Dramix®	7
Figura 6 – Resistência à compressão de BRFA [1]	9
Figura 7 – Influência da quantidade de fibras na resistência à tracção [1]	11
Figura 8 - Diagramas de distribuição de tensões em betões reforçados com fibras (Reinhardt 1979) [2]	11
Figura 9 – Índices de tenacidade I_5 e I_{10} de acordo com a ASTM C1018 [6]	13
Figura 10 – Esquema de corte de juntas de retracção	27
Figura 11 – Pormenor da Junta “isolante”	28
Figura 12 – Junta de dilatação	29
Figura 13 - Junta de dilatação com protecção dos bordos	29
Figura 14 – Juntas construtivas tipo	30
Figura 15 - Junta construtiva, com reforço da ligação entre fases	30
Figura 16 - Junta construtiva: preparação para a nova betonagem	30
Figura 17 - Curvas de retracção para diferentes espessuras de BRFA	31

Índice de Fotos

Foto 1 – Passadeira de aplicação de fibras na betoneira	19
Foto 2 – Preparando a base	20
Foto 3 – Ensaio de placa em decurso	20
Foto 4 - Colocação da tela plástica	21
Foto 5 - Colocação do betão por betoneira e nivelamento (atrás)	22
Foto 6 - Nivelador Laser	22
Foto 7 - Colocação de endurecedor de superfície mecanicamente	23
Foto 8 - Afagamento do pavimento	24
Foto 9 - Execução de uma junta de retracção	24
Foto 10 - Processo de cura	25
Foto 11 – Pormenor de reforço junto a um canto reentrante	27
Foto 12 – Junta “isolante” em torno de um pilar	28

1. Introdução

A presente monografia, inserida na cadeira de Mestrado “Tecnologia da Construção de Edifícios”, tem como objectivo fazer uma breve abordagem aos betões reforçados com fibras de aço (BRFA) e à sua aplicação em pavimentos térreos.

A utilização de materiais de matriz frágil à qual são adicionadas fibras é imemorial. O relato mais antigo que existe acerca dessa técnica data de 3500 A.C., quando terá sido feita uma colina de 57m de altura em tijolo de barro cozido ao sol, ao quais teria sido adicionada palha. Os Romanos introduziam crinas de cavalo nas suas argamassas. A construção de adobe é uma das técnicas ancestrais que chegou aos nossos dias que utiliza o mesmo princípio.

O início da utilização de fibras no betão é incerto. Várias referências apontam para o fim do sec. XIX / início do sec. XX como sendo a altura dos primeiros passos do BRF. Contudo, é consensual que o grande desenvolvimento se deu após a I Guerra Mundial, através da procura, por parte das instituições militares, de um material que absorvesse os impactos das explosões com baixa destruição do mesmo.

Do meio militar para o meio civil foi um pequeno passo, e desde os anos 60 que se tem investigado continuamente os BRF.

O primeiro material a ser usado para fibras foi o aço (a primeira tentativa terá sido a introdução de pregos no betão). Contudo, a evolução constante a que se assiste nos materiais sintéticos conduziu à utilização de outros tipos de fibras, dos quais se poderão destacar as fibras de vidro, fibras de polipropileno, amianto ou fibras naturais¹. O Fibrocimento é um exemplo destes materiais, com reconhecidas qualidades (e defeitos). Neste trabalho falar-se-á apenas dos primeiros (BRFA).

¹ Um relatório da British Press (1981) afirma que se pode usar cabelo humano para reforçar betão.

2.0 BRFA como material de construção

O BRFA é um material de matriz cimentícia, no qual são adicionadas pequenas fibras de aço, discretas, dispersas e aleatoriamente distribuídas.

A principal função das fibras é absorver as forças libertadas na ocorrência de microfissuração do betão, transferindo as tensões entre as duas faces agora separadas. Assim, as fibras mantêm o material coeso, impedindo que as microfissuras se transformem em macrofissuras.

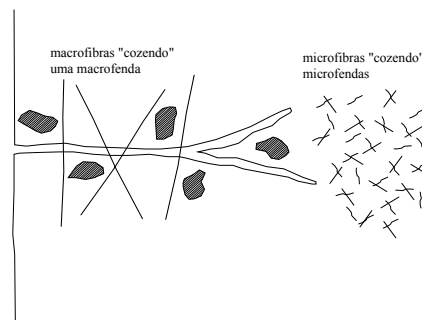


Figura 1 - Mecanismo de funcionamento das fibras

A primeira conclusão que se obtém, é que este material para funcionar plenamente tem de existir fissuração da matriz [1] [2].

2.1. BETÃO

O betão que normalmente se fabrica poderá não ser adequado à utilização em BRFA. Segundo alguns autores, o betão deve ser composto por uma dosagem de inertes finos superior à normal, devendo-se também aumentar a dosagem de cimento. Esta correcção deve-se à necessidade de aumentar a trabalhabilidade do betão (reduzida com a incorporação de fibras), e com a necessidade de envolver as fibras com pasta de matéria fina. As referências anteriores também indicam que a máxima dimensão dos inertes não deve ser superior a 20 mm, sendo preferível não ultrapassar os 10 mm de diâmetro [1][5]. Outros

estudos apontam para dimensões máximas dos inertes valores superiores, existindo trabalhos realizados com sucesso para betões com inertes de 1 1/2'' (39 mm) de diâmetro [3].

Segundo Hanna [4], pode-se fazer uma correlação, em termos de composição, entre um betão corrente para reforçar com armaduras ordinárias, e o mesmo betão no qual serão introduzidas fibras. A representa um ábaco elaborado para a incorporação de fibras lisas.

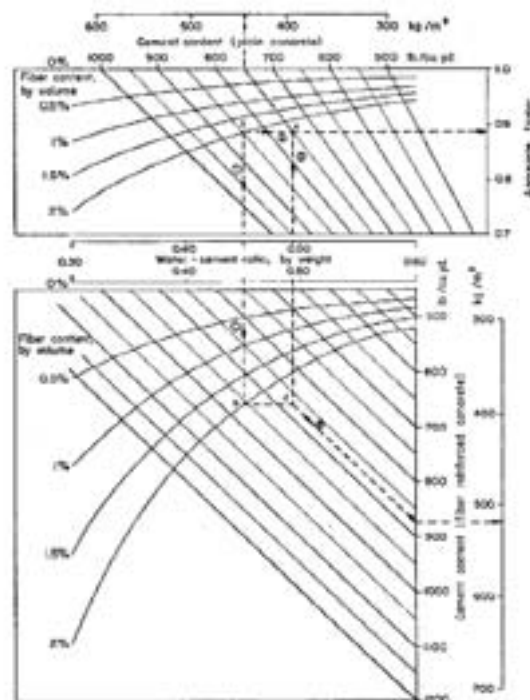


Figura 2 - Ábaco apresentado por Hanna [4] para ajuste da composição de um BRFA

O comité 544 da American Concrete Institute apresenta em [3], um quadro de composições tipo a usar em BRFA, dada a maior dimensão do inerte (Figura 3).

	3/8-in. maximum- sized aggregate	1/2-in. maximum- sized aggregate	1 1/2-in. maximum- sized aggregate
Cement, lb/yd ³	600-1000	500-900	470-700
w/c, lb/lb	0.35-0.45	0.35-0.50	0.35-0.55
Percent of fine to coarse aggregate	45-60	45-55	40-55
Entrained air content, percent	4-8	4-6	4-5
Fiber content, volume percent			
Deformed fiber	0.4-1.0	0.3-0.8	0.2-0.7
Smooth fiber	0.8-2.0	0.6-1.6	0.4-1.4

1 lb/yd³ = 0.5933 kg/m³; 1 in. = 25.4 mm; 1 steel fiber volume percent = 132.3 lb/yd³ (78.5 kg/m³).

Figura 3 - Proporções recomendadas pelo comité ACI544

Uma vez que é tradicional em Portugal utilização da curva de referência de Faury, desenvolveram-se estudos no nosso país que apontam para o parâmetro A de Faury se situar entre 24 e 34, tendo sido obtidos os melhores resultados com A=32 [5]. Alguns fabricantes de fibras de aço afirmam que, até percentagens do volume de 1% em fibras, o betão a aplicar poderá ser o mesmo que aplicado com reforço ordinário.

A composição do betão também pode ser obtida por ensaios. O Laboratoire Central des Ponts et Chaussées afirma que a composição de inertes que melhor otimiza a compacidade do BRFA é aquela que tiver menor tempo de escoamento no maneabilímetro LCL [5]. Caso não possua a trabalhabilidade suficiente deverão ser utilizados superplastificantes.

Apesar das divergências existentes na escolha da curva granulométrica a utilizar, não existem dúvidas que a relação água – cimento (A/C) nunca deverá ser superior a 0,55, sendo de todo em todo preferível usar valores de A/C inferiores a 0,50.

Pelo atrás exposto, não deixa de ser obvio que a composição da matriz a aplicar em BRFA está longe de ser padronizada, dependendo do tipo de inerte e do tipo de fibras a aplicar.

2.2. FIBRAS

As fibras de aço utilizadas na “confeção” de BRFA estão longe dos “pregos” que originalmente se introduziram, havendo hoje desenvolvimentos constantes nas fibras de aço, facilmente perceptíveis pelas inúmeras patentes existentes. Estas variam, quer em processo de fabrico, quer em termos das características do aço usado, quer na sua forma.

As fibras de aço podem ser feitas a frio, por corte de chapas ou por corte de fios, ou podem ser feitas a quente. Este último método, particularmente curioso, consiste em fazer rodar um disco que toca ligeiramente no metal derretido, conseguindo extrair deste um fio que solidifica imediatamente. Naturalmente, cada um destes métodos de execução conduz a fibras completamente distintas: enrugadas e retorcidas no primeiro, lisas e direitas (com ou sem sistema de ancoragem) no segundo, e finalmente irregulares com secção variável no último.

No que diz respeito ao aço usado, este é variado existindo fibras com tensões de cedência a variar entre os 500 MPa e os 2000 MPa [5]. Dada a dispersão das características do material usado, as normas existentes definem valores mínimos a obter para a tensão de cedência das fibras de aço:

- ASTM A820 – 345 MPa;
- JSCE-E 131-1995 – 552 MPa.

Também o processo de fabrico afecta as características do aço. Fibras feitas a frio, por corte de chapas possuem aço com grande dispersão de tensão de cedência, inerente ao processo de fabrico que altera as características do material. O corte de fios produz fibras com características pouco variáveis

A norma Americana ASTM A820 classifica o aço a aplicar em fibras em dois tipos diferentes:

- **Tipo I** – fibras obtidas por corte de fios.

- **Tipo II** – fibras obtidas por corte de chapas.

Quanto à forma, existem tipos variados de fibras de aço a serem fabricados correntemente.

As fibras podem ter secção circular, semicircular, rectangular ou totalmente irregular. O corpo das fibras pode ser liso ou rugoso (estando este factor altamente ligado ao processo de fabrico). As extremidades das fibras podem ser lisas ou possuir ancoragens de vários tipos. Na figura seguinte, apresentam-se vários tipos de fibras correntemente no mercado. Em anexo, apresentam-se algumas fichas técnicas de fibras em comercialização.



Figura 4 – Alguns dos diferentes tipos de fibras

O comprimento das fibras influencia a forma como estas interagem com a matriz na medida que, quanto maior for o seu comprimento, maior será a área de contacto com o betão, e consequentemente melhor será a aderência entre ambos. Por outro lado, a aderência melhora com a diminuição do diâmetro, uma vez que se aumenta a superfície específica.

Assim, é habitual caracterizar as fibras de aço através do seu coeficiente de forma (*aspect ratio* na literatura anglo-saxónica) que é traduzido pela relação l_f / d_f , em que:

- l_f = comprimento da fibra;
- d_f = diâmetro da fibra ².

² Em casos em que as fibras não possuam secção circular, d_f traduz o diâmetro equivalente dado por $\sqrt{\frac{4A}{\pi}}$