



Uso de Fibras de Aço para Execução do Concreto Armado

CARVALHO, Leonardo Lima Costa; MOTA, Carla Araújo

PGCOC 13, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 00 Mês 2018

Revisão: 00 Mês 2018

Aprovação: 00 Mês 2018

Palavras-chave:

Adição de fibras de aço

Concreto armado

Quantidade de fibras

Resumo:

As fibras de aço são pequenos segmentos de arame, que são misturados ao concreto em dosagens pré-calculadas, conferindo ao material ganho estrutural, e com baixo teor de carbono (BTC). As fibras de aço têm como principal característica a minimização de fissuras no concreto, originadas pela retração plástica do concreto, além disso, é possível citar também uma maior resistência ao impacto e à fadiga, aumento da capacidade de deformação do concreto e o aumento da durabilidade. É de extrema importância ter o conhecimento da especificação da NBR 15530:07, mas também, não menos importante, ter noção de dosagem das fibras no concreto e a sua disposição na estrutura para interagir com o concreto. Esse fato se deve porque o concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) tem seu desempenho dependente da interação entre fibra e matriz, assim, deve-se ressaltar que o uso de uma fibra que atenda a norma não garantirá o seu desempenho final. Por fim, é certo dizer que, as fibras de aço do concreto não garantem a não ruptura da estrutura, mas sim tardar a mesma.

1. Introdução

As fibras de aço para concreto começaram a ser utilizadas no Brasil a partir da década de 1990. Hoje, é possível a especificação segura e execução com critérios internacionais de qualidade. O país, inclusive, detém diversos recordes de construção de pisos industriais e prêmios internacionais de qualidade.

Concreto simples, não armado, é um material frágil, quebradiço, com uma baixa resistência à tração e uma baixa capacidade de alongamento na tração. O papel das fibras descontínuas, distribuídas aleatoriamente, é o

de atravessar as fissuras, que se formam no concreto, seja quando sob a ação de cargas externas ou quando sujeito a mudanças na temperatura ou na umidade do meio ambiente. As fibras provocam uma certa ductilidade após a fissuração. Se as fibras forem suficientemente resistentes, bem aderidas à matriz cimentícia, e em bastante quantidade, elas ajudarão a manter pequena a abertura das fissuras. Permitirão ao CRFA resistir a tensões de tração bem elevadas, com uma grande capacidade de deformação no estágio pós-fissuração.

Além disso, existem muitos meios de utilização das fibras de aço. Um dos casos

seria no concreto projetado, onde as fibras de aço também vem como aditivo do concreto. A sua aplicação se torna ideal dependendo da proposta da obra. Nesse caso, o mais comum é na construção de túneis.

A fim de absorver ou ao menos controlar a tendência de fissuração do concreto e aumentar a resistência à tração de estruturas de concreto, o uso de fibras de aço pode ser muito eficiente, onde o rendimento aumenta quando é falado em relação à suportar altos esforços.

Este trabalho tem a finalidade de apresentar as características das fibras de aço e os benefícios da sua utilização no concreto armado, onde são capazes de minimizar fissuras e aumentar sua tração.

2. Fibras de aço

Para aumentar a resistência à tração dos pisos, pavimentos e estruturas de concreto armado e evitar o aparecimento das fissuras originadas pela retração plástica do concreto na estrutura, a adição de fibras de aço no concreto ganha espaço. Esta retração pode ter diversas causas, entre elas é possível destacar a temperatura ambiente, o vento e o calor de hidratação do cimento.

Para utilizar no concreto armado, existem fibras que melhoram o rendimento do mesmo, onde elas possuem a mesma função, apenas diferenciando, em que condições devem ser aplicadas. As fibras possuem suas características, onde existe uma faixa de domínio em que cada uma é mais eficiente que a outra. No caso, as fibras de aço, são mais competitivas em pisos muito carregados, onde tem de suportar muitos esforços, tentam conquistar espaço na substituição total ou parcial das telas e barras de aço em algumas aplicações do concreto.

Além do citado acima, pode-se dizer também que, há uma economia significativa de tempo, pois não é necessário pátio de montagem de armadura e não há dificuldade na adição da fibra de aço no concreto, pois ela é feita como qualquer outra matéria-prima.

As fibras de aço são materiais descontínuos produzidos com uma grande variedade de formatos, dimensões e tipos de aço. São as mais utilizadas em elementos estruturais de concreto, porque com o seu alto módulo de elasticidade melhoram características como controle de fissuras, tenacidade, resistência ao impacto e à fadiga resistência à flexão.

Na maioria das vezes, as fibras de aço são produzidas com aço-carbono ordinário, contudo, as feitas de ligas metálicas são mais resistentes à corrosão, e também, são as mais adequadas para aplicações em concretos refratários. É possível ter como exemplo de aplicação do concreto com adição de fibras de aço: pisos industriais, pisos e revestimentos de túneis, entre outros.

Um fato muito importante a ser explicado é que as fibras quando adicionadas ao concreto, não possuem finalidade de substituir as armaduras convencionais. Isso só é possível em estruturas que tenham a possibilidade de redistribuir os esforços como é o caso dos pisos, pavimentos e radiers apoiados sobre o solo.

Ao contrário do que pensam, as fibras de aço não aumentam a resistência à torção, a resistência ao cisalhamento e a resistência à abrasão, nem podem eliminar a fissuração no concreto e muito menos reduzir grandemente a permeabilidade do concreto.

A capacidade de reforço proporcionado pelas fibras depende diretamente do teor de fibras. Quanto maior o teor, maior a quantidade de fibras atuando como ponte de transferência de tensão nas fissuras, o que aumenta a resistência pós-fissuração do concreto, contudo, o desempenho após a fissura está estreitamente ligado com a geometria da fibra.

Por fim, é sempre bom lembrar que as fibras de aço adicionadas ao concreto armado só serão eficientes e coniventes com as suas características, se lançadas de maneira correta e dosagem ideal, a fim de ser utilizada com um único intuito: diminuir as fissuras.

2.1. Tipos de fibra de aço

É importante conhecer os diferentes tipos de fibras de aço, pois elas diferenciam em sua seção, formato e dimensões. Há três tipos mais comuns de fibras de aço disponíveis no mercado brasileiro, onde serão listados abaixo.

2.1.1. Fibra de aço corrugada

Produzida a partir do fio chato que sobra da produção da lã de aço, ou seja, tratar de uma sobra industrial. Este fio é cortado, no comprimento que deseja, o qual varia entre 2,5 cm e 5 cm, e feito conformados no sentido do comprimento a fim de se obter o formato corrugado. Este tipo de fibra de aço tem como principal característica, melhorar a aderência da fibra com a matriz. Tem como vantagens principais, o baixo custo e a pouca ou nenhuma interferência na consistência do concreto.

Figura 1 – Fibra de Aço Corrugada



Fonte: ALIBABA [1]

2.1.2. Fibra com ancoragem em gancho e seção retangular

Produzidas a partir de chapas de aço que são cortadas na largura da fibra e, ao mesmo tempo, conformadas de modo, a se obter o formato desejado da ancoragem em gancho, tem como principal objetivo, a atuação como reforço do concreto.

Figura 2 – Fibra de aço com ancoragem em gancho e seção quadrada



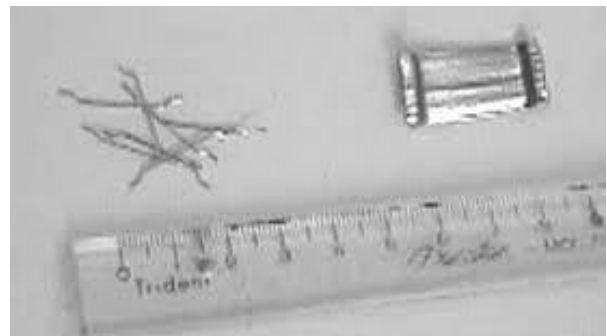
Fonte: EBAH,2014 [2]

2.1.3. Fibra de aço com ancoragem em gancho e seção circular solta

Formato semelhante ao apresentado no item 2.1.2, com apenas uma simples diferença na forma circular característica da seção transversal. Apresentam comprimentos entre 2,5 cm a 0,1 cm e diâmetros de 0,05 cm a 0,1 cm.

São produzidas a partir de fios estirados progressivamente, até se chegar ao diâmetro que deseja. Com isso, tem como a principal característica apresentar uma maior resistência mecânica, onde pode ser ainda maior quando da utilização de aços com maior teor de carbono.

Figura 3 – Fibra de aço com ancoragem em gancho e seção circular solta (na esquerda) e em pentes (na direita)



Fonte: USP, 2000 [3]

2.2. A matriz de concreto

Formado por três fases principais: a pasta de cimento, os agregados miúdos e os grãos, o concreto de cimento Portland é por si só, um compósito. Possuem a capacidade de produzir estruturas com inúmeras variações de forma e a capacidade de obter

grandes variações em função do tipo de componentes principais e de suas proporções.

Outro ponto importante a se notar é que o concreto simples, não armado, é frágil, com baixa resistência à tração, baixa capacidade de alongamento na tração e principalmente uma baixa resistência à compressão. A partir dessas características é possível observar um comportamento associado à fissuras que se formam ou já estão presentes no concreto. De maneira simplificada, pode-se entender este comportamento, típico dos materiais frágeis pelo modelo apresentado na figura 4.

Assim que uma nova fissura se dá início, a área disponível de suporte de carga é reduzida, causando um aumento das tensões presentes nas extremidades das fissuras. Logo, a ruptura na tração é causada por algumas fissuras que se unem e não por numerosas fissuras, como ocorre quando o concreto é comprimido. [4]

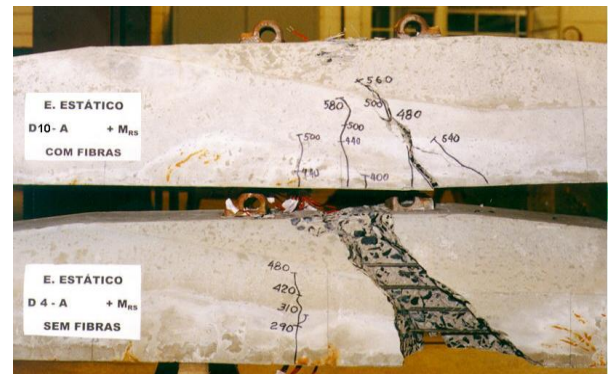
2.3. A interação fibra-matriz

Num determinado instante, a concentração de tensões na estrutura pode ocasionar uma ruptura da matriz, o que leva a uma propagação da fissura, onde este é um processo contínuo até a ruptura completa do concreto, caracterizando um comportamento frágil.

Para evitar a ruptura do material, são adicionadas fibras de aço e quando inseridas com seu módulo adequado ao concreto, numa quantidade apropriada (teor), o concreto deixa de ter comportamento frágil. Essa diferença de interação será listada em seguida.

Na figura 4, é possível ver o comportamento do concreto com e sem adição de fibras após a fissura.

Figura 4 – Comportamento do Concreto com e sem Fibras após a fissura.



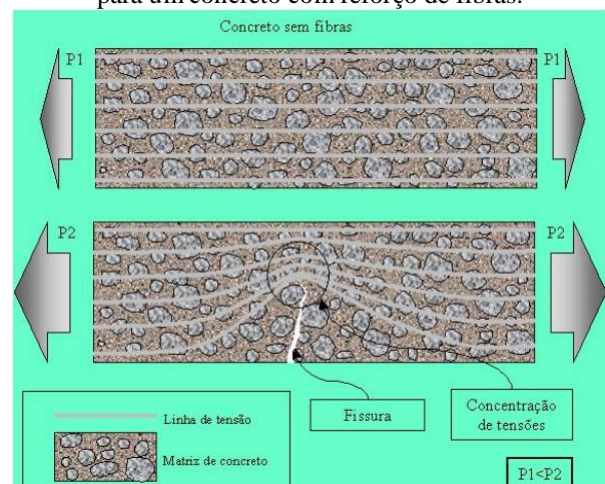
Fonte: UNESP, 2017 [5]

2.3.1. Interação do concreto sem fibras de aço

No concreto sem adição de fibras de aço, uma fissura irá representar o impedimento da propagação de tensões. Este "desvio" irá implicar numa concentração de tensões na extremidade da fissura e, no caso desta tensão superar a resistência da matriz, é possível ter a ruptura abrupta do material.

Assim, a partir do momento em que a fissura é aberta no concreto, ele rompe abruptamente, caracterizando um comportamento extremamente frágil. Ou seja, não se pode contar com nenhuma capacidade resistente do concreto fissurado.

Figura 5 – Esquema de concentração de tensões para um concreto com reforço de fibras.



Fonte: FIBRAS MM [6]

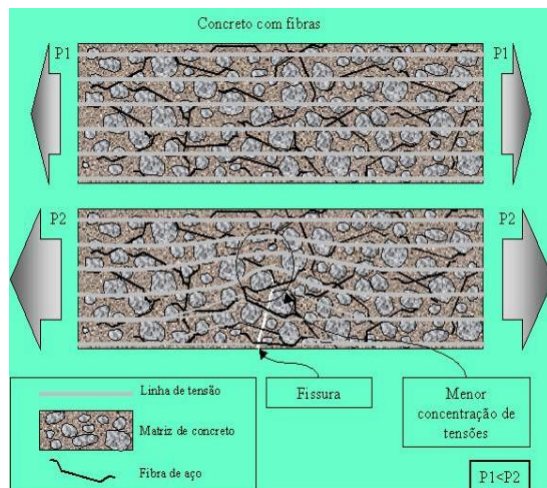
2.3.2. Interação do concreto com fibras de aço

A vantagem real da adição de fibras de aço no concreto é a minimização da formação de fissuras na estrutura, onde funcionam como ponte de transferência de tensões pelas fissuras, e assim, dificultando sua propagação devido ao seu elevado módulo de elasticidade. Ou seja, permitem uma redistribuição de esforços no material mesmo quando utilizada em baixos teores.

A interação da fibra-matriz no concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) é influenciada por inúmeros fatores, tais como: orientação, resistência da matriz, seção transversal, comprimento e volume crítico das fibras. O CRFA é totalmente dependente dessa sua interação, por isso deve-se verificar se os elementos constituídos pela mesma foram corretamente especificados, dosada e o controle do material feito segundo recomendado pela boa técnica.

Assim, deve-se ressaltar que o uso de uma fibra que atenda a norma não garantirá o desempenho final do CRFA. No esquema abaixo, é possível perceber a distribuição de tensões no concreto com fibras adicionadas.

Figura 6 – Esquema de concentração de tensões para um concreto com reforço de fibras



Fonte: FIBRAS MM [6]

3. Concreto reforçado com fibras de aço (CRFA)

Com o intuito de melhorar cada vez mais a qualidade do material trabalhado o CRFA vem tendo um papel de destaque na

construção civil brasileira com o passar dos anos. Deve se lembrar de que o concreto, como um material frágil, apresenta-se sempre susceptível à concentração de tensões quando do surgimento e propagação de uma fissura a partir do aumento da tensão a ele imposta, e a adição de fibras vem justamente para suprir essa deficiência.

3.1. Vantagens da adição de fibras

De forma resumida, dentre as vantagens da adição de fibras de aço no concreto é possível citar:

- Controlam a propagação das fissuras dentro da matriz do compósito;
- Aumento das resistências à fadiga, às cargas de impacto e dinâmico.
- Inibem a amplitude das fissuras associadas ao material compósito, acarretando um aumento na tenacidade;
- Aumento das resistências à compressão e à tração de solos artificialmente cimentados;
- Mudança no comportamento tensão - deformação de matrizes cimentícias, com o aumento da ductibilidade, beneficiando o material no seu estado pós - fissuração;
- A capacidade de reforço proporcionado pelas fibras depende diretamente do teor de fibras. Quanto maior o teor, maior a quantidade de fibras atuando como ponte de transferência de tensão nas fissuras, o que aumenta a resistência pós-fissuração do concreto. Além do teor de fibras, o desempenho após a fissuração depende muito da geometria da fibra.

3.2. Cuidados com o CRFA

Devido à falta de compreensão dos diferentes papéis que as fibras e as barras da armadura desempenham no concreto armado, não é certo confundir tais materiais. Usar as fibras de aço como fonte alternativa para às barras de armadura pode ser muito perigoso, devido ao fato que as fibras sendo descontínuas e dispersas randomicamente na matriz do concreto, não são muito eficientes no objetivo de suportar forças de tração,

cisalhamento e ocasionalmente de compressão. As fibras desempenham o papel, principalmente, de controlador de fissuras da matriz de concreto. A partir das informações citadas, chego à conclusão que as fibras devem ser vistas como um material complementar para ser usado junto com as barras convencionais de armadura.

Há de ser levado em conta também, que dosado corretamente (volume suficiente de fibras de aço no concreto) e lançadas de maneira correta no concreto (distribuídas de forma correta), as fibras melhoram suas características.

É errado pensar que, adicionando fibras de aço, é possível aumentar a resistência do concreto aos esforços mecânicos. Para isso, devem se aprofundar sobre o assunto para não utilizar mal o capital disponibilizado para a obra.

Embora as fibras possam de fato produzir melhorias no comportamento do concreto, é aconselhado ser realistas quanto ao que realmente é possível esperar das fibras, principalmente se a quantidade de fibras for pequena, (menos de 1% em volume), como é o caso geral.

Como as fibras são relativamente caras, é aconselhado estar preparados para responder à seguinte pergunta: “A mesma quantidade de dinheiro não poderia ser usada para colocar uma armadura adicional com barras, ou para escolher um traço melhor para a matriz cimentícia, ou para seguir melhores procedimentos de cura, etc?”.

Como comentado anteriormente, a dosagem de fibras de aço no concreto é uma característica muito importante para conseguir alcançar um CRFA ideal. Com isso, a tabela abaixo descreve como um CRFA ideal deve ser disponibilizado.

Quadro 1 – Características da quantidade ideal de fibras de aço no concreto

Tipo de fibra	Dimensões das fibras	Densidade relativa	Vol. de fibras (%)	Teor de fibras (kg/m ³)	Nº de fibras/m ³ concreto	Comp. das fibras/m ³ de concreto
Fibras de aço	L = 50mm Ø = 0,5 mm	7,85	1%	80	1 × 10 ⁶	50 Km

Fonte: AQUARIUS [8]

E, a partir da tabela abaixo, é possível dizer as propriedades mecânicas ideais das fibras de aço adicionadas ao concreto.

Quadro 2 – Propriedades mecânicas ideais das fibras de aço.

Tipo de fibra	Resistência a tração MPa	Módulo de elasticidade GPa	Alongamento último %
Aço	1000	205	30%

Fonte: <http://> AQUARIUS [7]

3.3. Propriedades do CRFA

O resultado final de uma adição de fibras de aço no concreto faz a diferença na capacidade de deformação das fibras e da matriz. No primeiro momento, ambas se deformam, porém até que a matriz sofra ruptura, a força é resistida pela matriz e transmitida às fibras. Em seguida, segue as propriedades do CRFA.

3.3.1. Resistência à compressão e compressão uniaxial

Em relação a resistência à compressão da matriz, é pouco influenciada pela incorporação de fibras, onde a adição das fibras para concreto com teor de 1% aumenta a resistência à compressão em cerca de 0 a 25%. A utilização de teores elevados e fibras longas aumentam levemente a resistência à compressão, pois a restrição à deformação transversal provocada pela presença das fibras impede que o concreto rompa prematuramente por perda de monoliticidade.

3.3.2. Resistência à tração e tração uniaxial

A resistência à tração aumenta com percentagem e capacidade de fixação da fibra à matriz. Contudo, para quantidades de fibras de aço inferior a 2%, a resistência à tração não aumenta significativamente, exceto quando se utiliza microsíllica, pois, nesse caso, a resistência da interface fibra matriz aumenta.

A adição de fibras ao concreto proporcionar aumento de sua resistência à tração, pois as fibras inibem a formação e a propagação das fissuras na matriz.

3.3.3. Resistência ao impacto

O emprego de fibras de aço para incremento da resistência ao impacto é viável e eficiente. A resistência ao impacto de concreto reforçado com fibras está relacionada à absorção de energia, onde aumenta consideravelmente [9]. A resistência ao impacto do CRFA é incrementada de forma significativa com o aumento do teor de fibras e do seu fator de aspecto. São necessárias cerca de 100.000 fibras longas ou 400.000 fibras curtas por metro cúbico para provocar mudanças mais significativas nesse tipo de comportamento.

3.3.4. Resistência à fadiga

Segundo Mehta e Monteiro [8], a adição de fibras à vigas com armaduras convencionais diminui a abertura das fissuras sob carregamento em fadiga. Quando o CRFA é bem projetado, a resistência à fadiga aumenta em cerca de 90% da resistência estática. Para Bentur e Mindess [9], na zona de pós-fissuração, o módulo de elasticidade do CRFA (cE) submetido ao esforço cíclico é influenciado pela deformação máxima do corpo de prova e pelo tamanho da fissura na ruptura da matriz.

3.3.5. Tenacidade

As fibras de aço no concreto podem ser avaliadas por meio de sua tenacidade, pois a maior parte da energia até a ruptura provém da aderência entre a fibra e a matriz. Um dos principais motivos para a incorporação de fibras ao concreto é o acréscimo, na capacidade de absorção, de energia pela matriz. Os fatores que influenciam a medida da tenacidade do concreto reforçado com fibras são: tipo da máquina de ensaio (*open loop* ou *closed loop*), tamanho e geometria do corpo de prova, resistência das fibras, resistência da matriz e teor, espaçamento das fibras, configuração de teste, taxa de carregamento, produção dos corpos de prova (moldagem ou serragem), configuração de

carga (concentrada ou linear), temperatura durante o ensaio tipo de controle de carga (força, deflexão, abertura de fissura), tipo de equipamento de medição e localização de dispositivo de medição da deflexão.

3.4. Volume crítico das fibras

A definição conceitual do volume crítico é a de que ele corresponde ao teor de fibras que mantém a mesma capacidade portante para o compósito a partir da ruptura da matriz. Ou seja, abaixo do volume crítico no momento em que haja a ruptura da matriz ocorre, necessariamente uma queda na carga que o material tem capacidade de suportar. Acima do volume crítico, o compósito continua aceitando níveis de carregamentos crescentes mesmo após a ruptura da matriz. Este trecho se encontra apresentada curvas de carga por deflexão em prismas de concretos com fibras rompidos à flexão. Existe um trecho elástico linear inicial correspondente ao estágio pré-fissurado da matriz do compósito e outro, similar a um patamar de escoamento, onde, se pode diferenciar o comportamento do concreto reforçado com teores abaixo, acima e igual ao volume crítico. [3]

3.5. Comprimento crítico

O segundo fator de eficiência está associado à redução de desempenho provocada pelo fato de se utilizar fibras descontínuas de comprimento reduzido. Este fator é determinado, através do estabelecimento do comprimento crítico (l_c). A definição do comprimento crítico está baseada no modelo que descreve a transferência de tensão entre a matriz e a fibra como aumentando linearmente dos extremos para o centro da fibra. Esta tensão é máxima quando a tensão a que está submetida a fibra se iguala à tensão de cisalhamento entre a fibra e a matriz. As situações possíveis de distribuição de tensão na fibra em relação ao comprimento crítico, são: $l = l_c$, $l > l_c$ e $l < l_c$, onde l = comprimento da fibra. [3]

O comprimento crítico de unia fibra pode ser definido como aquele que, quando da

ocorrência de uma fissuração perpendicular à fibra e posicionada na região média do seu comprimento proporciona uma tensão no seu centro igual à sua tensão de ruptura. Quando a fibra tem um comprimento, menor que o crítico, a carga de arrancamento proporcionada pelo comprimento embutido na matriz não é suficiente para produzir uma tensão que supere a resistência da fibra. Nesta situação, com o aumento da deformação e conseqüentemente da abertura da fissura, a fibra que está atuando como ponte de transferência de tensões pela fissura será arrancada do lado, que possui menor comprimento embutido. Este é o caso normalmente encontrado para as fibras de aço no concreto de baixa e moderada resistência. Quando se tem um concreto de elevada resistência mecânica, melhora-se a condição de aderência entre a fibra e a matriz e, nestes casos, é possível ultrapassar o valor do comprimento crítico causando rupturas de algumas fibras.

Aplicando-se os fatores de correção do volume crítico os teores de fibras necessários para a manutenção da capacidade portante do concreto reforçado com fibras de aço subirão para algo em torno de 1%. No caso das fibras de polipropileno o volume crítico será ainda maior, pois seu módulo de elasticidade e principalmente resistência última são bem menores que do aço. Com isto, tem-se como premissa que na maior parte dos casos trabalhar-se-á com volumes de fibra abaixo do volume crítico para o reforço do concreto. Desta forma, a principal contribuição destas fibras se dará no comportamento pós-fissuração da matriz, pois serão responsáveis pela redução da propagação das fissuras e pelo aumento da tenacidade, que, corresponde à energia medida pelo gráfico de carga por deflexão obtido no ensaio de tração na flexão.

3.6. Considerações práticas

Pode-se concluir, pela análise dos fatores de eficiência que, quanto mais direcionadas as fibras estiverem em relação ao sentido da tensão principal de tração, melhor será o desempenho do compósito. Como consequência prática, recomenda-se a

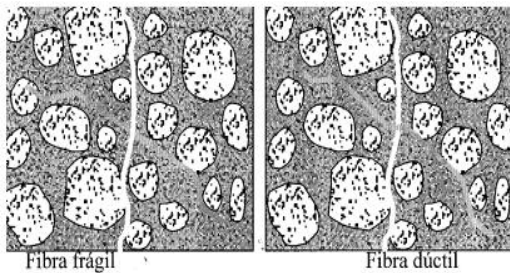
utilização de fibras cujo comprimento seja igual ou superior ao dobro da dimensão máxima característica do agregado utilizado no concreto. Em outras palavras, deve haver uma compatibilidade dimensional entre agregados e fibras de modo que estas interceptem com maior frequência a fissura que ocorre no compósito. Esta compatibilidade dimensional possibilita a atuação da fibra como reforço do concreto e não como mero reforço da argamassa do concreto. Isto é importante pelo fato da fratura se propagar preferencialmente na região de interface entre o agregado graúdo e a pasta para concretos de baixa e moderada resistência mecânica. Assim, a fibra que deve atuar como ponte de transferência de tensões nas fissuras deve ter um comprimento tal que facilite o seu correto posicionamento em relação à fissura, ou seja, superior a duas vezes a dimensão máxima do agregado.

Percebe-se que, quando não há compatibilidade, conforme figura 8, poucas fibras trabalham como ponte de transferência de tensões na fissura. Duas alternativas são normalmente empregadas de maneira a otimizar a mistura de concreto com fibras: ou se reduz a dimensão máxima característica do agregado, ou se aumenta o comprimento da fibra. No caso de pavimentos, onde não há grandes restrições quanto à dimensão dos componentes do concreto, é possível utilizar fibras mais longas como a apresentada na figura 7, compatíveis com agregados de maiores dimensões (19mm e 25 mm). Já no caso do concreto projetado, onde a dimensão máxima característica raramente ultrapassa 9,5mm, a utilização de fibras curtas (figura 7) facilita a aplicação do material uma vez que o mesmo terá que passar por um mangote de dimensões reduzidas.

A perda de eficiência da fibra inclinada em relação ao plano de ruptura pode ser ainda maior para o conjunto caso a mesma não apresente ductilidade suficiente. Isto ocorre pelo elevado nível de tensão de cisalhamento que a fibra é submetida nesta situação. Se ela não for capaz de se deformar plasticamente,

de modo a se alinhar ao esforço principal, acaba rompendo-se por cisalhamento. [3]

Figura 7 - Fibras de aço longas (a), e curtas (b)

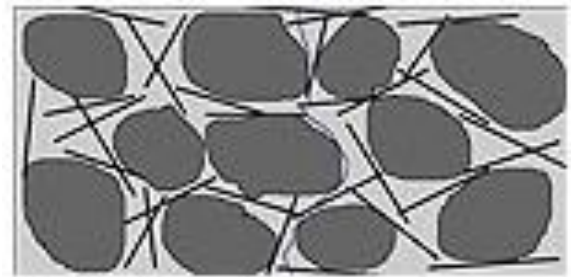


Fonte: USP, 2000 [3]

3.7. Dosagem do concreto com fibras

Durante a fase de projeto será necessário analisar uma série de quesitos, que vão além de indicar unicamente a necessidade de um determinado tipo ou quantidade de reforço. O conjunto de todas essas considerações levará o profissional a definir a configuração mais adequada ao piso. Para combater os esforços mecânicos atuantes nas placas, é possível ter como alternativa o uso das fibras de aço. Normalmente essas dosagens variam de 15 a 40 kg/m³, visando-se atingir resistência suficiente para que a placa absorva os carregamentos aplicados. Para a definição da fibra, devem ser considerados os ensaios de desempenho. São analisadas diferentes fibras em diferentes dosagens, até se chegar à matriz de concreto com a tenacidade necessária para combater os esforços mecânicos. É fundamental a utilização dos valores de tenacidade como parâmetro de avaliação do desempenho das diversas fibras existentes no mercado. O método mais comum no Brasil para a determinação da tenacidade é o ensaio à flexão em vigas segundo a norma japonesa JSCE-SF4, de 1984, da Japan Society of Civil Engineers [11]. Para se realizar esses ensaios deve-se recorrer a laboratórios qualificados. O desempenho das fibras dentro de uma matriz de concreto dependerá de vários fatores como: classe de resistência do concreto, dosagem de fibras (kg/m³), compatibilidade dimensional entre o agregado graúdo e o comprimento da fibra, forma geométrica, módulo de elasticidade, resistência mecânica e fator de forma (L/d) das fibras. [11]

Figura 8 - Situação demonstrando a incompatibilidade entre fibras e agregado graúdo



Fonte: USP, 2000 [3]

4. Considerações finais

A partir das informações recolhidas nesse trabalho, é possível notar a extrema diferença do Concreto Projetado com fibras de aço, onde a Obra foi executada conforme a necessidade apresentada.

O concreto projetado com e sem reforço de fibras de aço pode ser controlado e dosado cientificamente, sem lançar mão de traços empiricamente desenvolvidos. No entanto, muito ainda deve ser investido nesta área.

Lembrando que o uso de fibras deve ser acompanhado por um profissional que já conhece este tipo de aditivo, além de sua avaliação do comportamento do material na estrutura. Esta avaliação contribuirá para a obtenção de um melhor entendimento da interação entre o revestimento de concreto projetado e o maciço, fundamental no processo de dimensionamento dos túneis. Desta forma, foi possível obter a parametrização das exigências de desempenho que partem do projeto de execução do túnel.

A quantidade de fibras deve ser levada em conta para não lançar no concreto uma proporção menor que o mínimo útil ou maior que o máximo permitido.

Após a análise dessa construção feita com concreto projetado com fibras de aço, foi observado que o seu uso é muito útil para esse tipo de estrutura. Completamente recomendado para outras construções futuras.

Importante deixar ciente o leitor que, o uso de fibras de aço não é apenas útil para obras de

túnel, mas sim para todas as que necessitam uma resistência maior a tração, como: aeroportos, estacionamentos, encostas e entre outras.

5. Referências

- [1] Corrugated steel fiber (like Xorex). Disponível em: <https://www.alibaba.com/product-detail/Corrugated-steel-fiber-like-Xorex-_527984135.html>.
- [2] PEREIRA, Gabriel. Concreto com fibras. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABcD0AH/concreto-com-fibras>>.
- [3] DOMINGUES, Antonio. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Concreto com fibras de aço. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_00260.pdf>.
- [4] PUC RIO. Concreto com fibras. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/34905/34905_4.PDF>
- [5] SÉRGIO, Paulo. UNESP - Campus de Bauru/SP. Faculdade de Engenharia. 2151 – Concretos especiais. Concreto com fibras. Disponível: <www.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/Concreto%20Fibras.ppt>.
- [6] Fibras MM. Fibras sintéticas para adição em concreto. Macrofibras para reforço em concreto e Microfibra. Disponível em: <<https://fibrasmm.wixsite.com/fibrasparaconcreto/untitled>>.
- [7] CAROLINE, Mariane; BOMFIM, Felipe. Concreto reforçado com fibras de aço. Disponível: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/viewFile/2638/1528>>.
- [9] ADEL, Mohammed. Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14208/1/AvaliacaoMedidaTenacidade.pdf>>.
- [10] DOMINGUES, Antonio. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. Concreto com fibras de aço. Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/bt_00260.pdf>.
- [11] Piso de concreto com fibras de aço. Disponível: <<https://plantaoenharia.com/piso-de-concreto-com-fibras-de-aco/>>.