

Materiais compósitos e fibras de polipropileno

INTRODUÇÃO

A Publicação Técnica 1 é a primeira de uma série que pretende levar aos usuários e especificadores as informações necessárias para a correta utilização das fibras de polipropileno voltadas para a construção civil.

Esta publicação apresenta as principais propriedades das fibras de polipropileno, empregadas no microrreforço de concretos e argamassas, para a obtenção de características específicas desses materiais, notadamente no estado fresco e nas primeiras idades.

No entanto, antes de comentar sobre fibras de polipropileno e os benefícios que elas podem trazer ao concreto e à argamassa, será apresentada uma breve definição de materiais compósitos e compósitos fibrosos, para que o leitor tenha uma noção a respeito do campo da engenharia dos materiais em que se enquadra o tema deste boletim.

MATERIAIS COMPÓSITOS

A correta utilização das fibras passa necessariamente pela conceituação do novo material resultante, que é o compósito.

Um material compósito é a combinação de dois ou mais materiais que têm propriedades que os materiais componentes isoladamente não apresentam. Eles são, portanto, constituídos de duas fases: a matriz e o elemento de reforço, e são desenvolvidos para otimizar os pontos fortes de cada uma das fases (Budinski, 1996).

Na indústria mecânica, os compósitos são largamente empregados e geralmente são constituídos por matriz dúctil e fibra de ruptura frágil¹, como, por exemplo, os plásticos reforçados com fibras de vidro. Na construção civil, os compósitos são tipicamente constituídos por matriz frágil reforçada com fibra dúctil, como as argamassas reforçadas com fibras polipropileno, embora haja exceções, como o cimento amianto, talvez o mais

popular compósito da engenharia civil, no qual a matriz (pasta de cimento) e as fibras (amianto) apresentam ruptura frágil.

Ainda segundo Budinski (1996), os materiais compósitos mais importantes são combinações de polímeros e materiais cerâmicos. Sob a ótica da ciência dos materiais, os produtos baseados em cimento Portland são considerados como materiais cerâmicos por apresentarem características típicas a este grupo de materiais, como, por exemplo, alta rigidez, fragilidade, baixa resistência à tração e tendência de fissuração por secagem.

Os polímeros são caracterizados por terem baixo módulo de elasticidade, ductilidade variável e resistência à tração moderada. São extremamente versáteis e, dentro de certos limites, podem ser modificados para adaptar-se segundo necessidades específicas (Taylor, 1994).

As cerâmicas e os polímeros podem ser considerados como grupos opostos de materiais, uma vez que as primeiras são mais rígidas e frágeis, e os segundos são menos rígidos e dúcteis (Taylor, 1994).

Os materiais compósitos, originados da combinação das cerâmicas e dos polímeros, apresentam características mais apropriadas de resistência mecânica, rigidez, ductilidade, fragilidade, capacidade de absorção de energia de deformação e comportamento pós-fissuração, quando comparados com os materiais que lhes deram origem.

Em todas as áreas do conhecimento um grande número de novos materiais pode ser desenvolvido a partir da combinação de outros. Para tanto, é necessário que se conheçam as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos materiais de constituição e como eles podem ser combinados.

Budinski (1996) diz que "nós conhecemos bastante sobre os porquês de as coisas acontecerem e como fazer uma ampla variedade de materiais de engenharia. No entanto, o desenvolvimento de futuros materiais dependerá de novos conhecimentos de química e de estrutura atômica. Nós provavelmente não encontraremos nenhum outro elemento químico estável; portanto, deveremos ser mais criativos com o que temos".

¹ Denominam-se materiais frágeis aqueles que rompem praticamente sem apresentar deformação plástica; o concreto é um material frágil, enquanto que o aço, que apresenta um patamar de escoamento nítido antes da ruptura, é reconhecidamente um material dúctil.

A história da utilização de compósitos reforçados com fibras como materiais de construção tem mais de 3.000 anos. Há exemplos do uso de palhas em tijolos de argila, mencionados no Êxodo, e crina de cavalo reforçando materiais cimentados. Outras fibras naturais têm sido utilizadas para conferir ductilidade aos materiais de construção essencialmente frágeis (Illston, 1994).

Contrastando com esses antigos materiais naturais, o desenvolvimento de polímeros nos últimos cem anos foi impulsionado pelo crescimento da indústria do petróleo. Desde 1930 o petróleo tem sido a principal fonte de matéria-prima para a fabricação de produtos químicos orgânicos, a partir dos quais são fabricados plásticos, fibras, borrachas e adesivos (Illston, 1994).

Uma grande quantidade de polímeros, com variadas propriedades e formas, têm sido desenvolvidos desde 1955. Para Taylor (1994), os materiais baseados em cimento Portland são uma opção natural para a aplicação de materiais fibrosos à base de fibras poliméricas, uma vez que são baratos, mas apresentam problemas relativos a ductilidade, resistência ao impacto e capacidade de absorção de energia de deformação.

Segundo Johnston (1994), as fibras em uma matriz cimentada podem, em geral, ter dois efeitos importantes. Primeiro, elas tendem a reforçar o compósito sobre todos os modos de carregamento que induzem tensões de tração, isto é, retração restringida, tração direta ou na flexão e cisalhamento, e, secundariamente, elas melhoram a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil.

O desempenho dos compósitos reforçados com fibras é controlado principalmente pelo teor e pelo comprimento da fibra, pelas propriedades físicas da fibra e da matriz e pela aderência entre as duas fases (Hannant, 1994).

Johnston (1994) acrescenta o efeito da orientação e distribuição da fibra na matriz. A orientação de uma fibra relativa ao plano de ruptura, ou fissura, influencia fortemente a sua habilidade em transmitir cargas. Uma fibra que se posiciona paralela ao plano de ruptura não tem efeito, enquanto que uma perpendicular tem efeito máximo.

Taylor (1994) apresenta os principais parâmetros relacionados com o desempenho dos materiais compósitos cimentados, assumindo que as variações das propriedades descritas abaixo são atingidas independentemente:

- a) Teor de fibra. Um alto teor de fibras confere maior resistência pós-fissuração e menor dimensão das fissuras, desde que as fibras possam absorver as cargas adicionais causadas pela fissura;
- b) Módulo de elasticidade da fibra. Um alto valor do módulo de elasticidade causaria um efeito similar ao teor de fibra, mas, na prática, quanto maior o módulo maior a probabilidade de haver o arrancamento das fibras;
- c) Aderência entre a fibra e a matriz. As características de resistência, deformação e padrões de ruptura de

uma grande variedade de compósitos cimentados reforçados com fibras dependem fundamentalmente da aderência fibra/matriz. Uma alta aderência entre a fibra e a matriz reduz o tamanho das fissuras e amplia sua distribuição pelo compósito.

- d) Resistência da fibra. Aumentando a resistência das fibras aumenta também a ductilidade do compósito, assumindo que não ocorre o rompimento das ligações de aderência. A resistência da fibra dependerá, na prática, das características pós-fissuração desejadas, bem como do teor de fibra e das propriedades de aderência fibra-matriz;
- e) Deformabilidade da fibra: A ductilidade pode ser aumentada com a utilização de fibras que apresentem alta deformação de ruptura. Isto se deve ao fato de compósitos com fibras de elevado grau de deformabilidade consumirem energia sob a forma de alongamento da fibra;
- f) Compatibilidade entre a fibra e a matriz: A compatibilidade química e física entre as fibras e a matriz é muito importante. A curto prazo, as fibras que absorvem água podem causar excessiva perda de trabalhabilidade do concreto. Além disso, as fibras que absorvem água sofrem variação de volume, e a aderência fibra/matriz é comprometida. A longo prazo, alguns tipos de fibras poliméricas não possuem estabilidade química frente à presença de álcalis, como ocorre nos materiais à base de cimento Portland. Nesses casos, a deterioração com rápida perda das propriedades da fibra e do compósito pode ser significativa.
- g) Comprimento da fibra. Quanto menor for o comprimento das fibras, maior será a possibilidade de elas serem arrancadas. Para uma dada tensão de cisalhamento superficial aplicada à fibra, esta será melhor utilizada se o seu comprimento for suficientemente capaz de permitir que a tensão cisalhante desenvolva uma tensão de tração igual a sua resistência à tração.
Na verdade, não basta raciocinar tão-somente em cima do comprimento da fibra. Há de se levar em conta o seu diâmetro. Pois depende também dele a capacidade da fibra em desenvolver as resistências ao cisalhamento e à tração. A Figura 1 apresenta uma disposição idealizada da fibra em relação à fissura, seguida de um equacionamento onde fica evidente a importância da relação l/d , onde "l" é o comprimento e "d" é o diâmetro da fibra.
A relação l/d é proporcional ao quociente entre a resistência à tração (f_t) da fibra e a resistência de aderência fibra/matriz (f_a), na ruptura. Em grande parte, a tecnologia dos materiais compósitos depende desta simples equação: se a fibra tem uma alta resistência à tração, por exemplo, como o aço, então ou a resistência de aderência necessária deverá ser alta para impedir o arrancamento antes que a resistência à tração seja totalmente mobilizada ou fibras de alta relação l/d deverão ser utilizadas (Taylor, 1994).

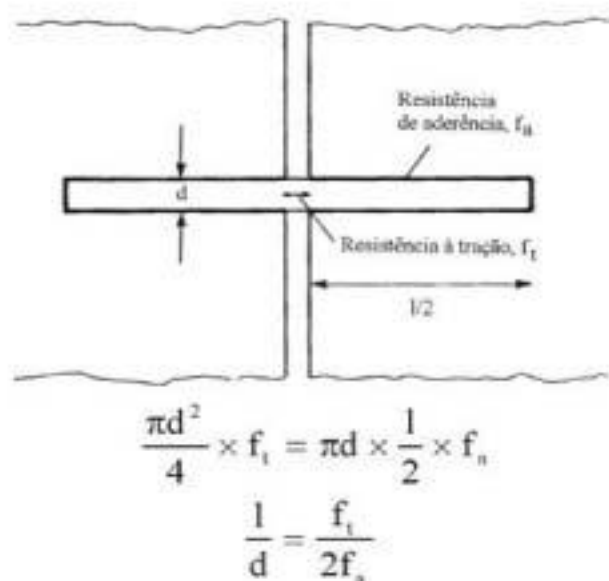


Figura 1: Disposição fibra/fissura idealizada

FIBRAS SINTÉTICAS

Na construção civil são empregados diversos tipos de fibras, desde as naturais – como as de celulose, amianto, sisal, juta e até pêlo de elefante – às artificiais, como as sintéticas, vidro e aço.

Dentro do universo das fibras sintéticas, as mais conhecidas são as de polipropileno, nylon, poliéster. As principais propriedades desses tipos de fibras estão apresentadas na Tabela 1.

Para cada tipo e aplicação de fibra, existe um teor recomendado que maximiza as propriedades desejadas. Um dos fatores determinantes para que haja um bom desempenho do compósito fibroso é o número de fibras por metro cúbico de concreto. O número de fibras necessário para melhorar alguma propriedade do concreto no estado plástico, como, por exemplo, diminuir a incidência de fissuras de retração plástica ou diminuir a exsudação e a segregação, é sensivelmente menor que o número de fibras necessário para alterar alguma propriedade do concreto no estado endureci-

do, como, por exemplo, a resistência ao impacto. O número de fibras por metro cúbico de concreto varia muito em função do diâmetro e da densidade da fibra. A Figura 2 mostra em um gráfico esta variação, em que foi calculado o número de fibras por quilograma, considerando-as com 10 mm de comprimento. Percebe-se claramente que quanto menor a densidade da fibra e o seu diâmetro, maior será o número de fibras por unidade de massa. Por outro lado, fibras com maior densidade e diâmetro apresentam uma frequência de fibras consideravelmente menor.

Quando as fibras plásticas começaram a ser empregadas em larga escala no Brasil (início da década de 90), cometeram-se alguns equívocos com relação ao seu desempenho, pois os módulos de deformação usuais dessas fibras variam entre 3 e 10 GPa, enquanto os do concreto usado em pavimentação são da ordem de 25 GPa.

O compósito apresentará desempenho estrutural maior do que a matriz somente se o módulo de elasticidade da fibra for maior do que o da matriz. Portanto, essa condição não é atingida pelas fibras plásticas usuais. Deste fato se conclui que a função da fibra plástica no concreto está muito ligada às propriedades do concreto nas primeiras idades.

Quando se empregam argamassas, essa situação pode variar, visto que há argamassas que apresentam valores de módulos mais próximos aos das fibras mencionadas.

FIBRAS DE POLIPROPILENO NEOMATEX

As fibras de polipropileno Neomatex são produzidas segundo tecnologia específica para concreto. Essa tecnologia está fundamentada em três aspectos: a facilidade de dispersão das fibras durante o processo de mistura, a aderência/ancoragem fibra-matriz e o diâmetro da fibra. A dispersão e a aderência são garantidas pela inclusão de aditivos durante o processo de fabricação.

TABELA 1: PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DE ALGUNS TIPOS DE FIBRAS ^(a)

Tipo de fibra	Densidade relativa	Diâmetro (microns)	Comprimento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)	Resistência à tração (MPa)	Deformação na ruptura (%)	Compatibilidade com a pasta de cimento ^(b)
Aço	7,86	100 - 600	10 - 60	200	700 - 2000	3 - 5	Boa
Amianto	2,55	0,02 - 30	5 - 40	164	200-1800	2 - 3	Satisfatória
Vidro (E-glass)	2,70	12,5	10 - 50	70	600 - 2500	3,6	Pobre
Poliéster ^(b)	1,34 - 1,39	20 - 25	20 - 30	< 17	800 - 1300	8 - 15	Variável ^(c)
Polipropileno (fibrilada) ^(b)	0,91	500 - 400	20 - 75	< 8	400	8	Boa
Polipropileno (monofilamentos)	0,91	12 - 21	6 - 24	4	450	80	Boa
Nylon	1,15	21	10 - 20	8	800	25	Boa
Celulose	1,50	20 - 120	0,5 - 5	10 - 50	300 - 1000	20	Satisfatória

Fonte: (a) Hannant (1994);

(b) Johnston (1994)

(c) Segundo Johnston, a durabilidade do poliéster na presença de um ambiente alcalino é questionável e controversa. Nem todos os poliésteres estão sujeitos ao ataque alcalino, porém o componente básico, polietileno tereftalato (PET), sofre hidrólise e dissolução quando sujeito ao ataque alcalino, comprometendo assim a sua durabilidade.

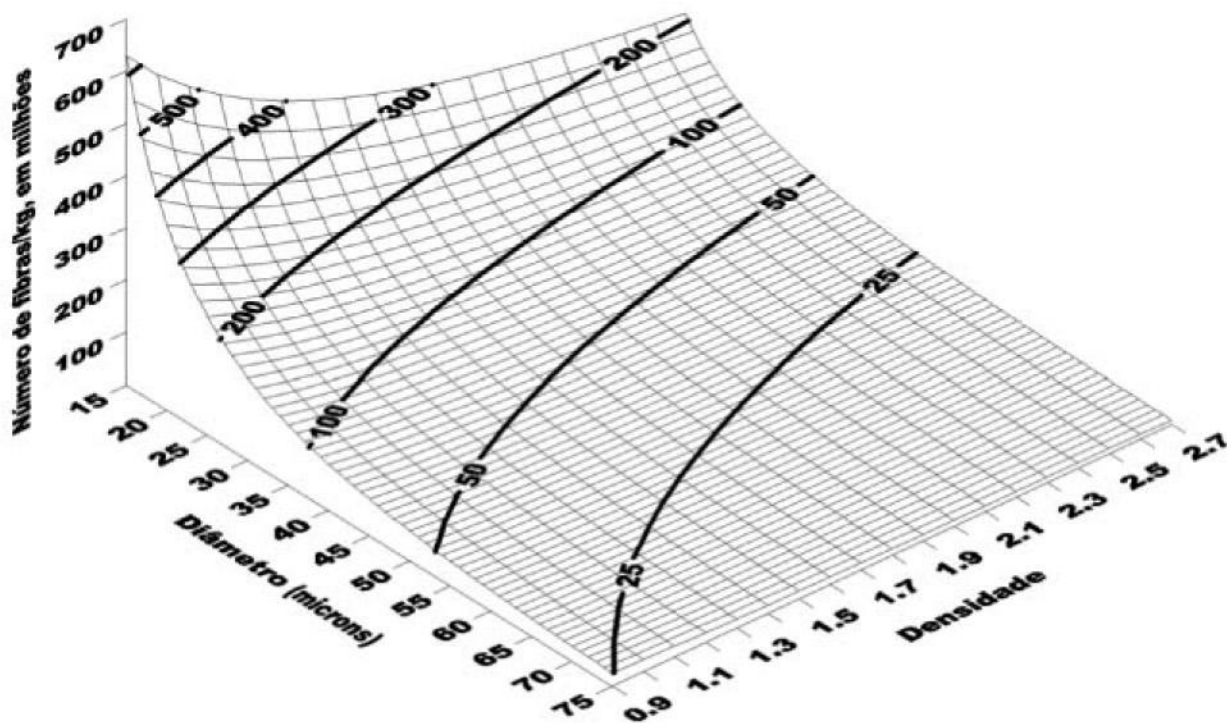


Figura 2: Relação densidade x diâmetro x número de fibras

O pequeno diâmetro das fibras Neomatex e a baixa densidade do polipropileno garantem uma grande quantidade de fibras por metro cúbico de concreto e uma maior área superficial específica. Além dos aspectos citados acima, somam-se a facilidade e a comodidade da embalagem hidrossolúvel, que se dissolve durante o processo de mistura e permite ao usuário lançar as fibras juntamente com a embalagem fechada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

BUDINSKI, K. G. *Engineering Materials; properties and selection*. New Jersey: Prentice Hall International., 5ed, 1996. 653p.

HANNANT, L. *Fibre-reinforced cements and concretes*. In: J. M. ILLSTON. *Construction Materials; their nature and behaviour*. 2ed. London: J. M. Illston/E & FN Spon., 1994. p.359-403.

ILLSTON, J. M. [Ed]. *Construction Materials; their nature and behaviour*. London: E & FN Spon, 2ed., 1994. 518p.

JOHNSTON, C. D. *Fibre-reinforced cement and concrete*. In: V. M. MALHORTA. *Advances in concrete technology*. 2ed. Ottawa: V. M. Malhotra, 1994. p.603-673.

TAYLOR, G. D. *Materials in Construction*. London: Longman Scientific & Technical, 2ed, 1994. 284p.



Rua Agueda Gonçalves, 77 - Jd. Pedro Gonçalves
 CEP 06760-020 - Taboão da Serra - SP
 Tel./Fax.: 55 11 4771 1323
 www.neomatex.com.br

O PubliTec - Publicação Técnica é uma publicação da Neomatex. Sua reprodução total ou parcial é permitida se a fonte for citada. A Neomatex não se responsabiliza por opiniões apresentadas nesta publicação indicando a fonte e autoria.