

## **INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES DO COPOLÍMERO VA/VEOVA E FIBRAS SINTÉTICAS NAS PROPRIEDADES DA PASTA DE CIMENTO PORTLAND**

**Carlos Eduardo Marmorato GOMES<sup>1</sup> e Osny Pellegrino FERREIRA<sup>2</sup>**

1) Universidade de São Paulo. Campus São Carlos. Interunidades. Brasil. Correo electrónico: [marmorato@itelefonica.com.br](mailto:marmorato@itelefonica.com.br)

2) Universidade de São Paulo. Campus São Carlos. Departamento de Arquiteutura e Urbanismo – Brasil

### **RESUMEN**

El creciente empleo de compuestos fibrosos por la industria de la construcción civil en los últimos años comprueba la eficacia de la adopción de fibras como refuerzo de matrices frágiles, como por ejemplo las masas, argamasas y concretos de cemento Portland. Ya en la mitad del siglo pasado se estimaba el empleo de un millón de toneladas por año de fibras de acero y sintéticas en todo el mundo en la construcción civil.

Con el desarrollo de nuevas fibras sintéticas en sus propiedades, con costo similar al de las fibras comunes, se supone que los productos reforzados por estas fibras tendrán un gran avance en los próximos años. Específicamente, en relación a las fibras poliamida 6.6, se comprueba que las mismas poseen un módulo de elasticidad menor que el de las matrices de cemento Portland convencionales, característica esta que restringe su aplicación en compuestos de fibrocemento. El incremento del módulo de elasticidad de estas fibras constituye un gran desafío para la industria textil debido a las características de su proceso de fabricación, específicamente en lo que se refiere a la hilandería.

De esta forma, el presente estudio buscó en cambio incrementar el módulo de elasticidad de las fibras poliamida, disminuir el módulo de elasticidad de la matriz de cemento Portland a través de la adición de un polímero redispersable en agua (Va/VeoVa), compatibilizando de esta forma el valor del módulo de elasticidad de la matriz al de las fibras poliamida 6.6, viabilizando la producción de un compuesto (CRP: Cemento Reforzado con Poliamida) de mayor capacidad de absorción de energía y deformación, capaz de contribuir a la industria de la construcción civil, principalmente en lo que se refiere a los procesos de tratamiento de juntas de dilatación, impermeabilizaciones y confecciones de placas cementicias.

La caracterización del compuesto CRP, fue realizada por ensayos mecánicos y microscópicos con el objeto de analizar importantes propiedades tales como la adherencia fibra-matriz, investigada a través de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).

**Palabras claves:** Cemento Reforzado con Poliamida, ensayos mecánicos, Microscopía Electrónica de Barrido.

## RESUMO

O crescente emprego de compósitos fibrosos pela indústria da construção civil nos últimos anos, comprova a eficiência da adoção de fibras como reforço de matrizes frágeis, a exemplo das pastas, argamassas e concreto de cimento Portland. Já na metade do século passado estimava-se o emprego de um milhão de toneladas por ano de fibras de aço e sintéticas em todo o mundo na construção civil.

Com o desenvolvimento de novas fibras sintéticas em suas propriedades, com custo similar ao das fibras comuns, faz-se supor que os produtos reforçados por estas fibras tenham grande avanço nos próximos anos. Especificamente em relação à fibra poliamida 6.6, constata-se que as mesmas possuem módulo de elasticidade menor em relação às matrizes de cimento Portland convencionais, característica esta que restringe sua aplicação em compostos de fibrocimento. O incremento do módulo de elasticidade destas fibras constitui um grande desafio à indústria têxtil devido às características de seu processo de fabricação, especificamente no que se refere à fiação.

Desta forma, a presente pesquisa buscou ao invés de incrementar o módulo de elasticidade das fibras poliamida, diminuir o módulo de elasticidade da matriz de cimento Portland através da adição de um polímero redispersável em água (Va/VeoVa), compatibilizando desta maneira o valor do módulo de elasticidade da matriz ao das fibras poliamida 6.6, viabilizando a produção de um composto (CRP – Cimento Reforzado com Poliamida) de maior capacidade de absorção de energia e deformação, capaz de contribuir à indústria da construção civil, principalmente no que se refere ao processos de tratamento de juntas de dilatação, impermeabilizações e confecções de placas cimentícias.

A caracterização do composto CRP, foi realizada por ensaios mecânicos e microscópicos que visaram analisar importantes propriedades como a aderência fibra-matriz, investigada através de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

## INTRODUÇÃO

Para melhorar o desempenho das argamassas e concreto de cimento Portland em diversas propriedades, dentre outras, a resistência mecânica, a abrasão, a retração e a capacidade de absorção de energia, é comum a utilização dos polímeros e das fibras.

No que se refere aos materiais, a modificação de um concreto (ou argamassa) com polímero, diverge do concreto de cimento Portland convencional apenas pela adição de um monômero ou polímero, disperso ou não em solução aquosa, proporcionando uma polimerização “in situ”. Desta forma, a fase aglomerante é formada por dois tipos de componentes ativos, o cimento Portland e a dispersão de um monômero ou polímero em água.

Os compósitos de cimento Portland modificados com polímero constituem um produto da associação de um composto inorgânico (cimento) e um composto orgânico (polímero) e têm uma estrutura definida que consiste no gel do cimento e as microfibras do polímero. Consequentemente suas propriedades são notoriamente incrementadas quando utilizamos como parâmetro o concreto convencional.



Figura 1. Fissura em concreto modificado com polímero. FONTE: TEZUKA (1988)<sup>[1]</sup>.

Já a adição de fibras em compósitos de cimento Portland, visa melhorar a distribuição dos esforços em todas as direções, modificando assim o comportamento frágil deste tipo de material e aumentando de maneira significativa a resistência à fadiga.

Há uma grande variedade de fibras para o uso em matrizes de cimento, como as fibras de vidro, de metal, de carbono, de vegetal e de polímero. A escolha de uma delas torna-se conseqüência das características que se deseja do compósito. As fibras de baixo módulo de elasticidade e alongamento maior do que o da matriz de cimento, dão compósitos com pequeno aumento de resistência, mas capazes de absorver grandes energias e, portanto, grande resistência ao impacto e tenacidade. Já as fibras de módulo de elasticidade elevado e grande resistência, produzem compósitos com características, principalmente, de elevada resistência à tração, rigidez e absorção de ações dinâmicas.

De forma simplificada pode-se dizer que, a adição de fibras curtas na matriz de concreto resulta num compósito, denominado *concreto armado com fibras*, de maior resistência à tração, resistente ao impacto, resistente à fadiga, tenaz e dúctil.

O comportamento de uma matriz de concreto ou argamassa armada com fibras, está intimamente ligado à interação fibra-matriz, desta forma, o conceito básico do reforço é o da transferência de tensões da matriz para a fibras, tanto na fase de pré-fissuração, como após a ocorrência da primeira fissura.

A utilização conjunta de polímeros e fibras como neste trabalho, contribui de forma significativa em muitas propriedades, além da colaboração efetiva do polímero nas interfaces fibra-matriz.

### MATERIAIS EMPREGADOS

A seguir são apresentadas as propriedades dos materiais utilizados nesta pesquisa:

#### a) Fibra de Poliamida

Tabela 1. Propriedades da fibra de poliamida.

<b>Fibra de poliamida 3,3 dtex – Rhodia Poliamida Ltda.</b>	
Título (dtex)	3,7 ± 0,2
Alongamento (%)	45,4 ± 11,6
Tenacidade (cN/tex)	41,3 ± 3,2
Força de ruptura (cN)	15,1 ± 1,2
Comprimento do corte (mm)	6
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	1,1465 ± 0,0004
Diâmetro (microns)	20,8 ± 0,3

b) Copolímero VA/VEOVA (Acetato Versatato).

Tabela 2. Propriedades do polímero.

<b>Propriedades do polímero Va-Veova – Rhodia Brasil Ltda.</b>	
Teor de sólidos	99 ± 1
Teor de agente anti-blocante	12 ± 2
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,45 à 0,60
Tamanho médio de partícula (µm)	80 ± 10
Colóide protetor	álcool polivinílico

c) Hiperplastificante (HP).

Tabela 3. Propriedades do hiperplastificante.

<b>Hiperplastificante Glenium 51 – MBT Ind. Com. Ltda.</b>	
Forma	Líquido viscoso
Cor	Marrom
Massa específica	1,100 g/cm <sup>3</sup>
PH	6,6
Viscosidade	128 ±30 cps (20°C)

d) Cimento Portland tipo ARI-PLUS.

Tabela 4. Análise química do cimento Portland.

<b>Análises químicas do CPV ARI PLUS (%) – Ciminas S.A.</b>				
SiO <sub>2</sub>	19,55	19,40	19,47	19,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,98	5,00	5,04	5,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,08	3,00	3,01	3,00
Cão	64,84	64,68	64,66	64,85
MgO	0,60	0,65	0,59	0,63
SO <sub>3</sub>	2,86	2,81	2,86	2,88
CO <sub>2</sub>	2,50	2,50	2,05	1,98
K <sub>2</sub> O	0,70	0,71	0,70	0,69
P.F.	2,93	3,04	2,78	2,68
Resíduo	0,31	0,28	0,25	0,23

### COMPOSIÇÕES ANALISADAS

Com intuito de investigar o comportamento da pasta de cimento Portland modificada com Va/VeoVa e reforçada com fibra de poliamida, foram estabelecidas composições conforme a tabela 05, as quais o teor de polímero, o teor de aditivo hiperplastificante e a relação água cimento, estão expressos em adição em relação ao peso de cimento. Já o teor de fibras refere-se à porcentagem ocupada desta adição em relação ao volume total.

Tabela 5. Traços dos Compostos.

traço	cimento	Va-Veova (%)	Volume de fibras	% aditivo HP	Relação (a/c)
Ref.1	1	10	0%	1%	0,35
Ref.2	1	20	0%	1%	0,35
Ref.3	1	40	0%	1%	0,35
Ref.4	1	10	2,5%	1%	0,35
Ref.5	1	20	2,5%	1%	0,35
Ref.6	1	40	2,5%	1%	0,35
Ref.7	1	10	5,0%	1%	0,35
Ref.8	1	20	5,0%	1%	0,35
Ref.9	1	40	5,0%	1%	0,35

### MÉTODOS ADOTADOS

Todas as composições foram analisadas, aos 28 dias de idade, após serem submetidas ao seguinte ciclo de cura: 1 dia exposto às condições ambientes de laboratório ( $T \sim 25^\circ\text{C}$ ) protegidos por filme de PVC, 1 dia em câmara úmida ( $T \sim 23^\circ\text{C} - 95\%$  de umidade) e 26 dias novamente exposto às condições ambientes de laboratório ( $T \sim 25^\circ\text{C}$ ). A seguir é apresentado o procedimento experimental adotado neste estudo:

a) *Resistência à Compressão*. Os ensaios foram realizados conforme a norma brasileira (NBR 5739), em corpos-de-prova cilíndricos de diâmetro igual à 5 cm e altura

igual à 10 cm. A velocidade de carregamento adotada foi de 0,05 mm/s e o resultado obtido pela média aritmética de 04 amostras;

b) *Resistência à Tração na Flexão*. Os ensaios foram realizados conforme a norma (ASTM C 947-99), em placas de dimensões iguais à 5 cm x 1,5 cm x 35 cm fletidos à 4 pontos e o resultado obtido pela média aritmética de 04 amostras;

c) *Estudo microestrutural*. As análises foram realizadas usando Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) por elétrons secundários, marca LEO-440, com sistema de Espectrografia por Dispersão de Energias (EDS) acoplado.

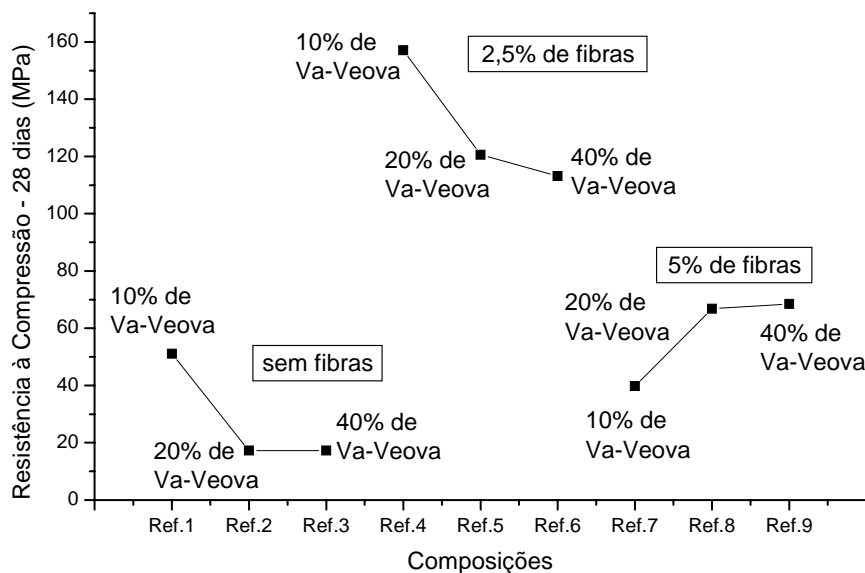
### APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos pelos compósitos:

a) *Resistência à compressão axial (NBR 5739)*.

Figura

2.



Resistência à Compressão aos 28 dias.

b) Resistência à tração na flexão (módulo de ruptura - ASTM C 947-99).

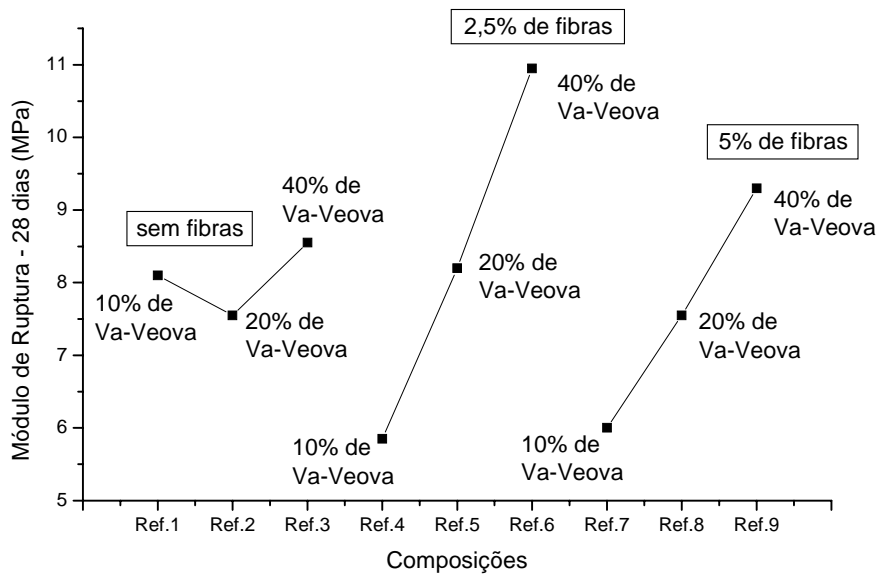


Figura 3. Módulo de Ruptura (MOR) aos 28 dias.

c) Resistência à tração na flexão (Limite de proporcionalidade- ASTM C 947-99).

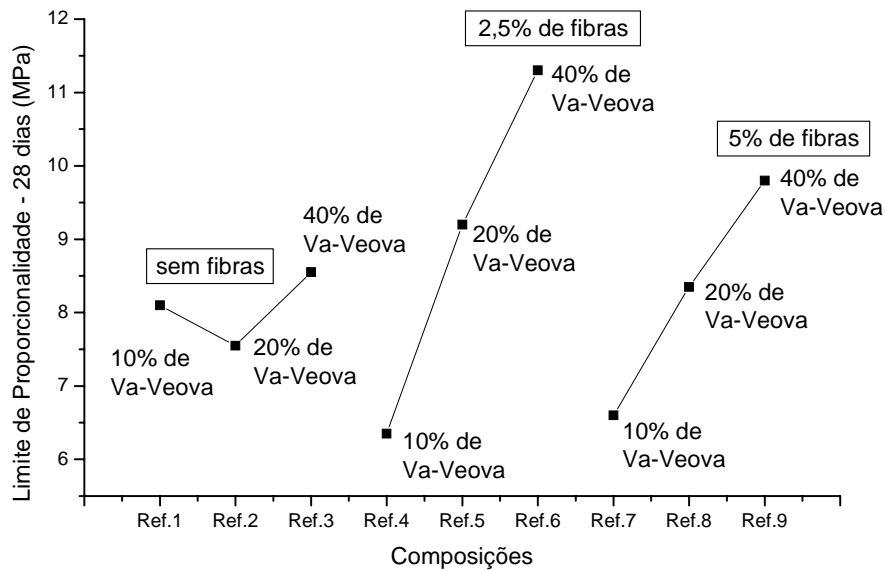


Figura 4. Tensão Limite de Proporcionalidade (LOP) aos 28 dias.

d) *Resiliência.*

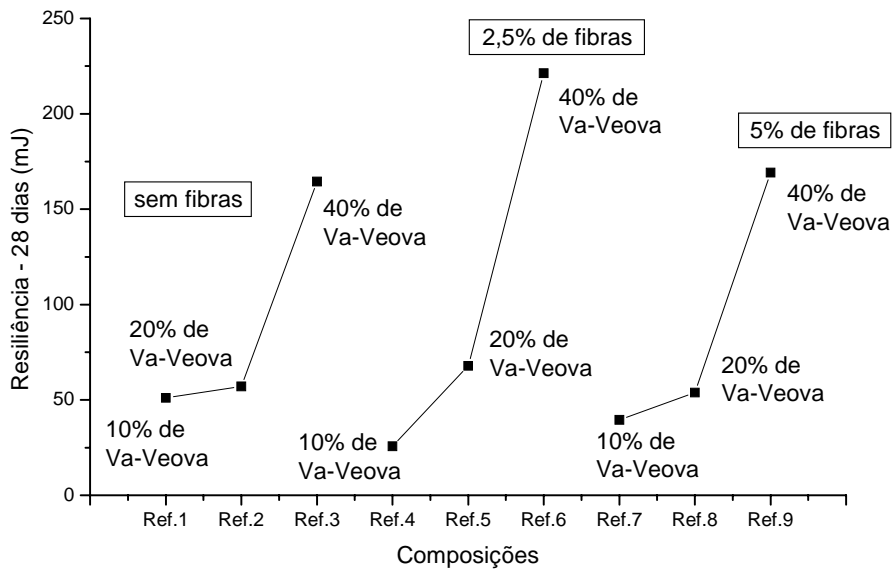


Figura 5. Resiliência aos 28 dias.

e) *Tenacidade.*

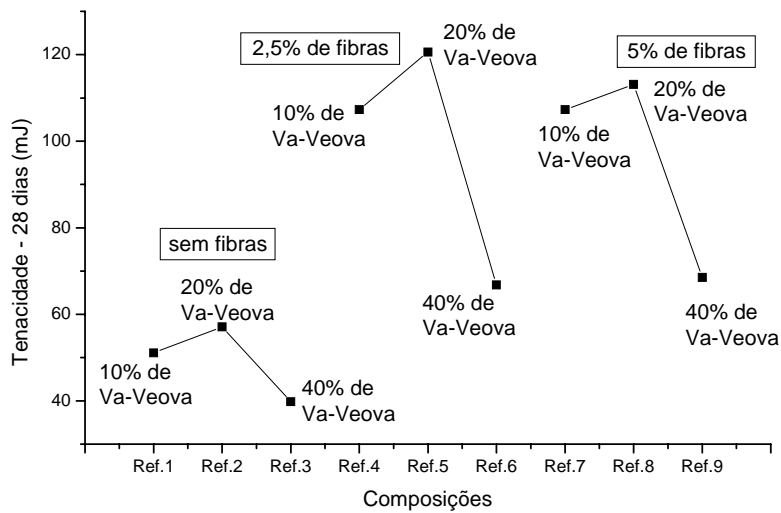


Figura 6. Tenacidade aos 28 dias (vão livre/150).

f) Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

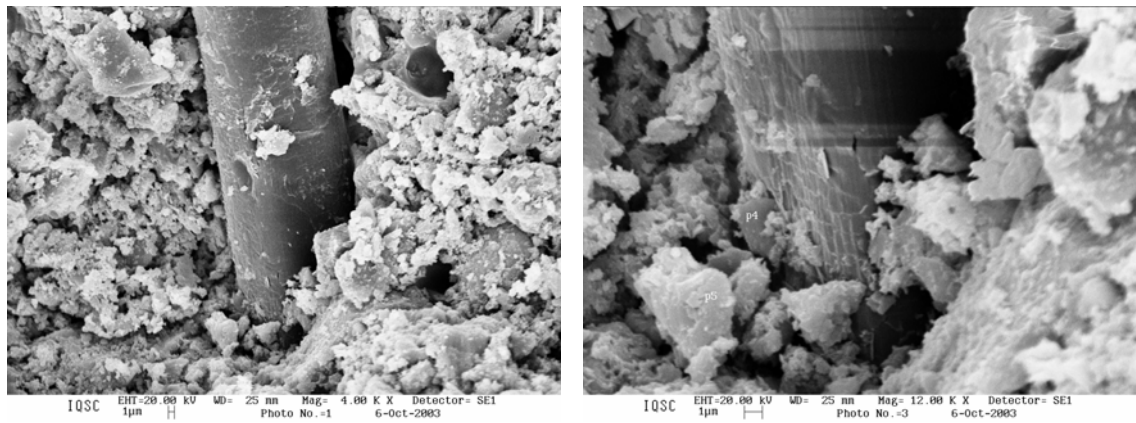


Figura 7. Microscopia eletrônica de varredura na interface fibra-matriz – amostras sem copolímero.

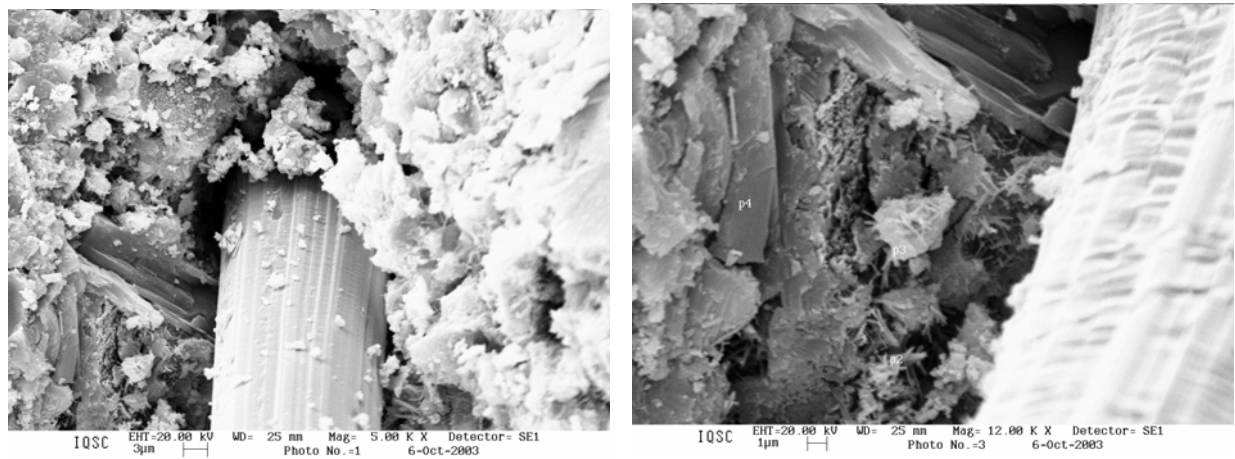


Figura 8. Microscopia eletrônica de varredura na interface fibra-matriz – amostras com 10% de copolímero.

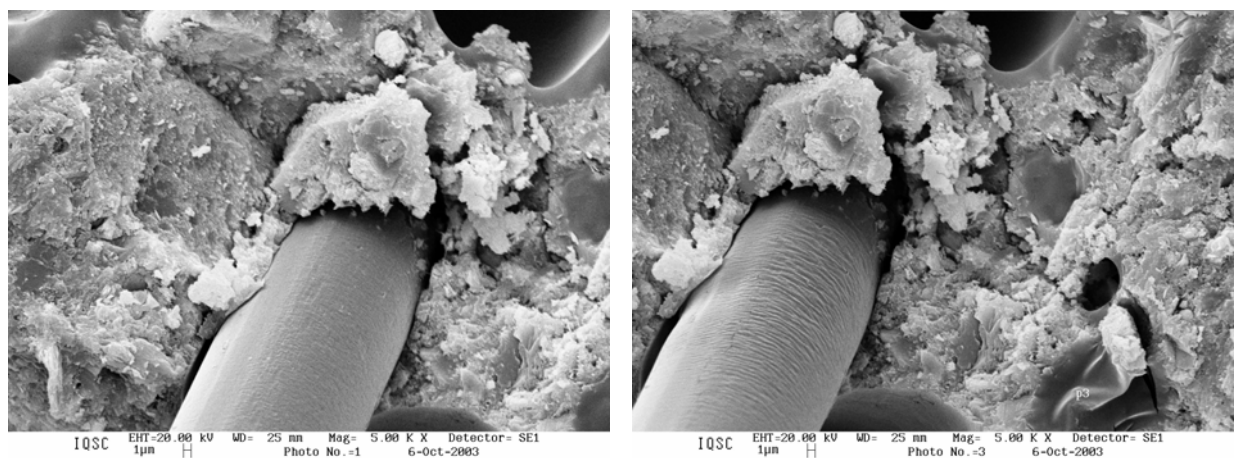


Figura 9. Microscopia eletrônica de varredura na interface fibra-matriz – amostras com 20% de copolímero.

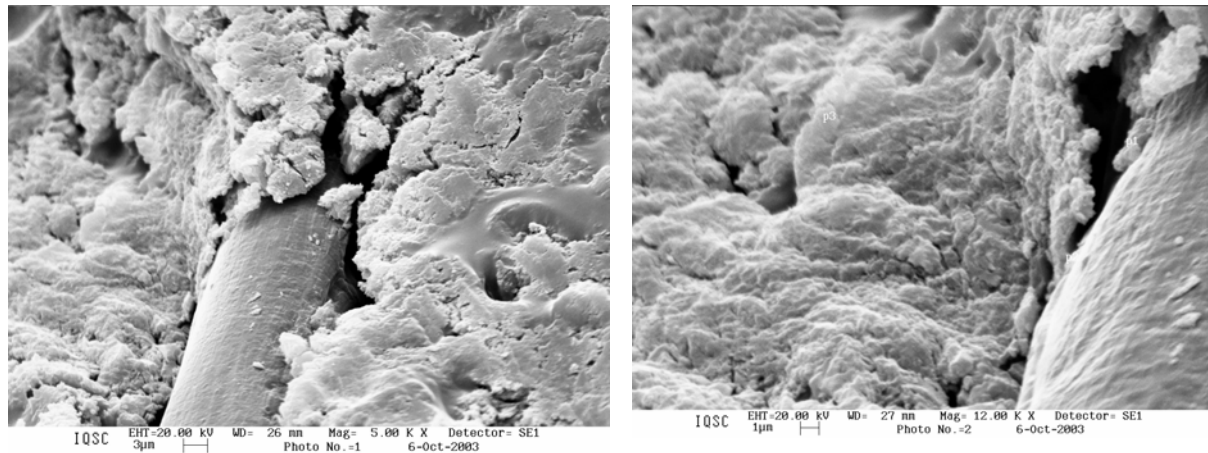


Figura 10. Microscopia eletrônica de varredura na interface fibra-matriz – amostras com 40% de copolímero.

## DISCUSSÕES E CONCLUSÃO

A adoção de altos teores de fibras requerem cuidados especiais de forma a evitar a ocorrência de embolamento. O teor de 5% de fibras de poliamida em volume, não afeta a mistura dos materiais, porém, necessita de maior energia.

Foi verificado que a adoção de altos teores do polímero, reduziu a resistência à compressão axial do material, mas proporciona grande ductilidade ao composto, principalmente com a adoção das fibras de poliamida.

No que se refere à tração na flexão, a adoção de fibras de poliamida aumentou de forma considerável os valores do módulo de ruptura das composições 3, 6 e 9 (40% de polímero) e proporcionou grande tenacidade às demais composições.

A modificação da pasta de cimento Portland com o polímero Va/VeoVa, proporcionou maior ductilidade aos compostos e reduziu significativamente o módulo de elasticidade das matrizes. Desta maneira, as fibras de poliamida foram utilizadas explorando sua principal característica, ou seja, elevada tenacidade (grande capacidade de absorção de energia).

As análises microestruturais da pasta de cimento Portland, mostraram que a adoção do polímero reduziu a formação do hidróxido de cálcio na matriz de cimento Portland, sendo este fenômeno atribuído a menor hidratação do cimento Portland e possível interação entre os íons acetato do polímero com os íons cálcio da matriz

A concepção do composto CRP (cimento reforçado com poliamida), permite a utilização das fibras de poliamida em compostos de fibrocimento, sem a necessidade da realização de modificações físico-químicas em suas propriedades. O composto CRP explora desta maneira, o sinergismo das fibras de poliamida e o polímero Va/VeoVa para atender de forma eficiente, as exigências de determinadas áreas e aplicações da construção civil, principalmente no que diz respeito à execução de pavimentos, impermeabilizações, juntas de dilatação, painéis sanduíche e outras aplicações que necessitam de grande capacidade de absorção de energia.

### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

[1] Y. TEZUKA “*Concreto de Cimento e Polímero*”. São Paulo, ABCP, Nov. 1988.

### OUTRAS PUBLICAÇÕES

[a] C.E.M. GOMES, O.P. FERREIRA "Avaliação das propriedades de matrizes de cimento Portland contendo fibras de poliamida com adições de látex SBR e sílica ativa", 43º Congresso Brasileiro de Concreto, Instituto Brasileiro de Concreto, 2001.

[b] C.E.M. GOMES, O.P. FERREIRA “*Propriedades do concreto reforçado com fibras de aço com adições da sílica ativa e do látex estireno-butadieno*”, XXIX JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, JUBILEO “Prof. JULIO RICALDONI”, 2000.