



13º CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS



## AVALIAÇÃO MICROESTRUTURAL DE RODS PULTRUDADOS DE FIBRA DE VIDRO COM MATRIZ EPÓXI E ÉSTER VINÍLICA EXPOSTOS A AMBIENTES AGRESSIVOS

Laís V. Silva<sup>1</sup> (D), Fernanda W. Silva<sup>1\*</sup> (IC), José R. Tarpani<sup>2</sup>, Sandro C. Amico<sup>1</sup>

1 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre – RS, [fernanda.watte@gmail.com](mailto:fernanda.watte@gmail.com)

2 - Universidade São Paulo – USP, São Carlos – SP

**Resumo:** O aumento significativo do uso de materiais compósitos pultrudados na substituição de aço e concreto, principalmente em setores de construção civil, se deve ao seu alto desempenho, promovendo alta resistência, baixo custo de manutenção e não apresentam corrosão oxidativa. Seus mecanismos de envelhecimento necessitam ser melhor compreendidos, principalmente os de dano sob diferentes condições de serviço susceptíveis em aplicações de engenharia civil ou em águas profundas. Os efeitos ambientais como umidade, temperatura, radiação UV, presentes na atmosfera devem ser sempre considerados antes da aplicação do compósito em projeto de estruturas. Este trabalho apresenta um estudo microestrutural comparativo de *rods* pultrudados de fibras vidro em diferentes envelhecimentos. Os danos gerados após exposições foram avaliados por microscópio ótico. Foi possível constatar danos nas microestruturas dos *rods* como trincas nas regiões ricas em resina e o descolamento de interface fibra/matriz.

**Palavras-chave:** *Rods, pultrudados, envelhecimento, radiação, água do mar.*

### *Evaluation of rods microstructural fiberglass pultruded epoxy with mother and vinyl ester exposed to aggressive environments*

**Abstract:** The significant increase in the use of pultruded composite materials in steel and concrete replacement, especially in civil construction, is due to its high performance, providing high strength, low maintenance and do not have oxidative corrosion. Its aging mechanisms need to be better understood, especially damage under different conditions of service in which civil engineering applications or in deep water. Environmental effects such as humidity, temperature, UV radiation in the atmosphere should always be considered before the application of composite structures design. This work presents a comparative study of microstructural rods pultruded glass fibers in different aging methods. The damage caused after exposure were evaluated by optical microscope. It was found damage to the microstructures of rods such as cracks in regions rich in resin and the detachment of fiber / matrix interface.

**Keywords:** *Rods, pultruded, aging, radiation, sea water.*

### **Introdução**

Os materiais compósitos de matriz polimérica reforçada com fibras contínuas de alto desempenho mecânico se apresentam como fortes candidatos para substituírem os materiais tradicionalmente utilizados neste ramo da engenharia. As principais vantagens que impulsionam o uso desta classe de compósitos estruturais são elevadas rigidez e resistência mecânicas específicas (razão propriedade mecânica/densidade), resistência à corrosão, à fadiga, e estabilidade térmica [1].

Dentre as técnicas de manufatura aplicadas aos compósitos estruturais se destaca a pultrusão, que permite a obtenção de perfis, incluindo os chamados *rods* (hastes flexíveis) que possuem alto teor de fibras contínuas e retilíneas. Os compósitos pultrudados vêm apresentando grande aceitação em setores construtivos, como por exemplo, em pontes de pequeno e grande porte, exibindo como vantagens, como a manutenção menos frequente e uma maior durabilidade em ambientes agressivos [2].

Visando garantir o desempenho satisfatório durante a operação em condições que atuem simultaneamente agentes mecânico e ambiental de *rods* pultrudados de fibra de vidro, este trabalho apresenta a proposta de um estudo microestrutural dos defeitos causados pelos efeitos de agentes de envelhecimento, como por exemplo, umidade, temperatura e radiação UV. Uma vez que gerados defeitos no material compósito, estes podem impactar diretamente nas propriedades mecânicas do material e conseqüentemente diminuir o desempenho e vida do produto em serviço. A parte inicial desse trabalho foi apresentada em um estudo anterior [3] com as propriedades físicas, químicas e térmicas dos *rods* envelhecidos por água destilada e salina. Na segunda parte deste estudo, serão comparadas as análises químicas após exposição por radiação UV. Além disso, toda a caracterização microestrutural dos *rods* antes e após os diferentes tipos de envelhecimento.

## Experimental

### *Materiais Empregados*

A Tabela 1 apresenta a especificação dos dois tipos de *rods* pultrudados de fibras de vidro (FV) com matrizes epóxi (E) e éster-vinílica (V), fornecidos por empresa nacional.

**Tabela 1.** Especificações dos *rods*.

Nomenclatura	Fibra	Matriz	Diâmetro (mm)	V <sub>f</sub> * (%)
VE30	Vidro	Epóxi	3,0	74,38 ± 0,29
VV30	Vidro	Éster-vinílica	3,0	71,71 ± 0,13

\*Frações volumétricas obtidas anteriormente [3]

### *Métodos de Exposição*

Neste trabalho, os *rods* pultrudados foram submetidos a três processos de exposição por um período de 3000 horas a 60 °C, por exposição em água destilada, água do mar e radiação UV. O envelhecimento por água destilada aquecida foi baseado na norma ASTM D570, e a imersão em água salina foi de acordo com a norma ASTM D1141. Para as imersões em água salina e aquecida, os *rods* foram imersos na solução dentro de bandejas de alumínio e dispostos em uma estufa. A exposição por radiação UV (simulando radiação UV + aspersão de água) foi feita seguindo diretrizes da norma ISO 4892-2, onde se utilizou o ciclo 1 na câmara de envelhecimento da marca Q-SUN, Modelo Xenon Test Chamber Xe-3.

### *Caracterização dos rods*

As amostras de seção transversal dos *rods* foram cortadas com 15 mm de comprimento, embutidas a frio, lixadas e polidas. As micrografias foram feitas por microscopia óptica (microscópio Carl Zeiss, modelo Axio Scope A.1) e editadas no programa Axio Vision também da Carl Zeiss. Os *rods* foram analisados antes e após os diferentes tipos de envelhecimento para investigar os defeitos gerados pelos mesmos.

Os espectros de absorção dos *rods* após exposição por radiação UV nas exposições foram obtidos na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), foram obtidos em um espectrômetro Perkin Elmer modelo Spectrum 1000, utilizando a técnica do disco de KBr contendo em torno de 3% (m/m) de amostra, no intervalo de 400 a 4000 cm<sup>-1</sup>.

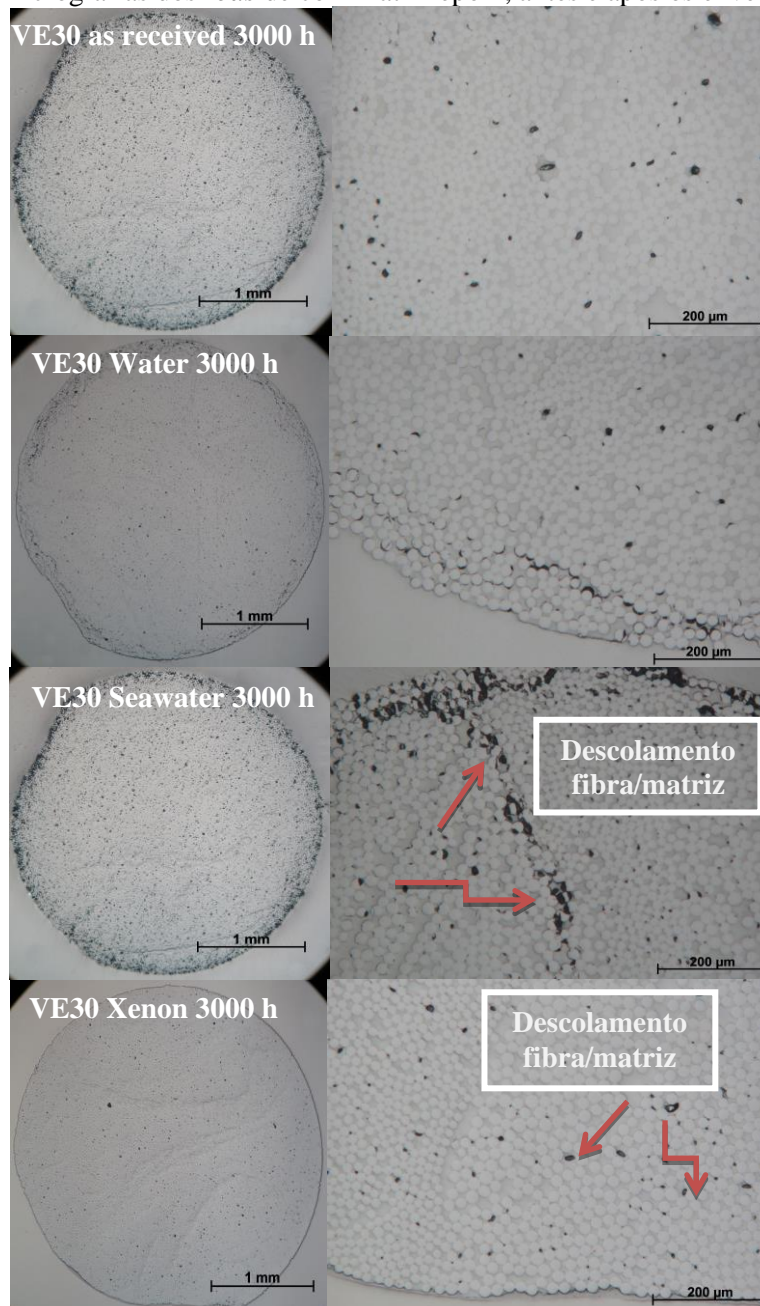
## Resultados e discurso

### *Análise microestrutural dos rods*

As micrografias dos *rods* de fibra de vidro com resina epóxi e resina éster-vinílica, antes e após os envelhecimentos estão apresentadas na Fig. 1 e 2, respectivamente.

Os *rods* VE30 Water - 3000 h e VE30 Seawater - 3000 h apresentaram descolamento fibra-matriz na interface. As trilhas mais escuras evidenciam isso, e deixa claro o efeito da umidade no interior do compósito, o mesmo foi encontrado em pultrudados com resina epóxi em estudos anteriores [4]. Isso se deve pela geração de micro-trincas no compósito em zonas ricas em resina devido à diferença nos coeficientes de expansão dos componentes do compósito, e aos efeitos da distribuição heterogênea de fibra [1]. Para os *rods* VV30 como recebido, observa-se um alto teor de vazios devido à fabricação. Os *rods* VV30 Water - 3000 h também apresentaram descolamento fibra-matriz, o mesmo que ocorreu para os *rods* com epóxi.

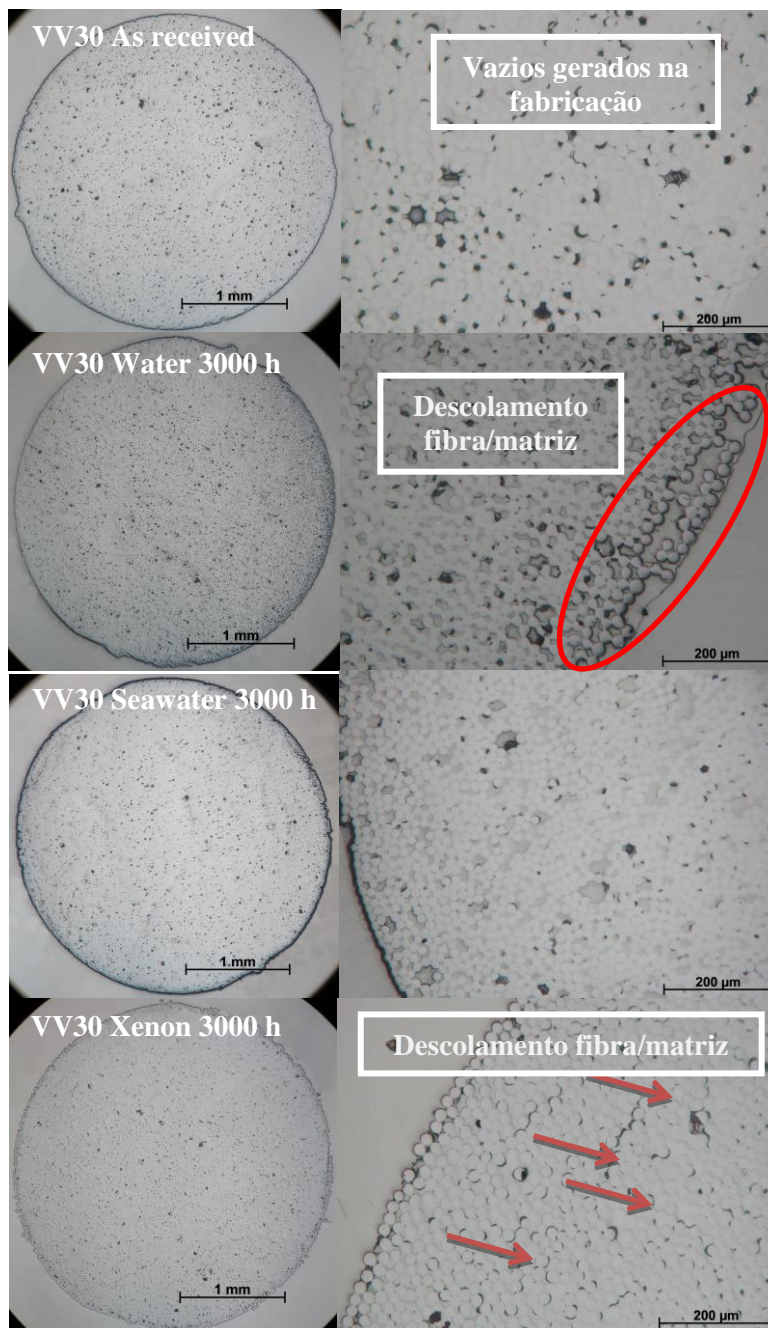
**Figura 1.** Micrografias dos *rods* de com matriz epóxi, antes e após os envelhecimentos.



Os VV30 Xenon - 3000 h apresentaram um alto teor de trincas que representa o descolamento de interfaces fibra-matriz, fenômeno este gerado pela fragilização da matriz com o aumento da

densidade de ligações cruzadas a partir do processo de foto-oxidação [5]. Diferentemente dos *rods* VE30 Xenon - 3000 h que não apresentaram grandes modificações quando comparados *rods* VV30 Xenon - 3000 h, mostrando uma maior resistência da matriz epóxi à radiação UV.

**Figura 2.** Micrografias dos *rods* de fibras de vidro e matriz éster-vinílica, antes e após envelhecimentos.

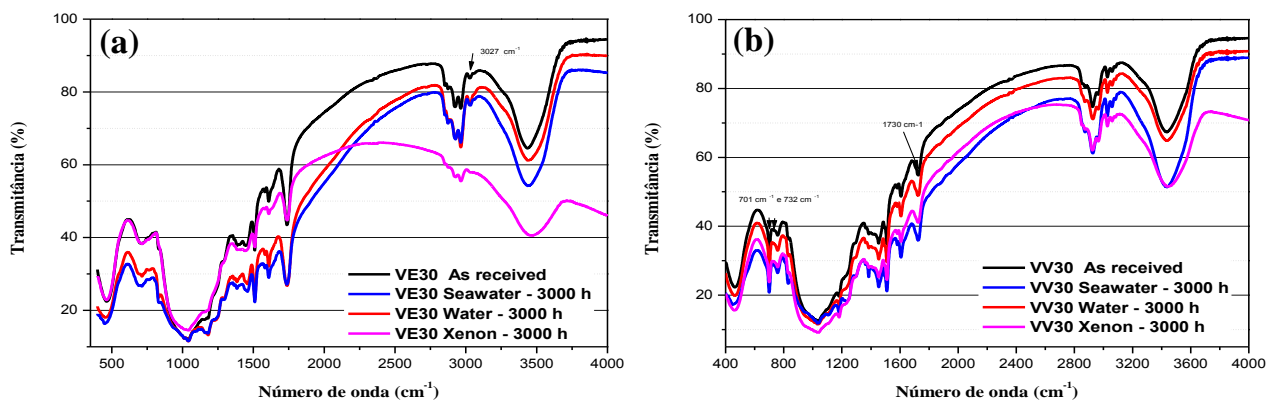


### Análise química dos *rods*

Estão apresentados na Fig. 3 os espectros dos *rods* com fibra de vidro com matriz epóxi (a) e matriz éster-vinílica (b), antes após os diferentes tipos de envelhecimentos. A presença de umidade na matriz dos *rods* foi detectada nos espectros de infravermelho apresentados, nas bandas de 3431 e 3439  $\text{cm}^{-1}$ , região característica de grupos hidroxilas (OH). Portanto, confirma-se que houve



penetração de umidade na estrutura dos compósitos com fibra de vidro após as 3000 h para todos os tipos de envelhecimento. O mesmo foi observado para os *rods* com resina éster-vinílica, porém com uma intensidade aumentada da banda  $3400\text{ cm}^{-1}$  indicando uma maior presença desses grupos na cadeia da resina éster-vinílica. O grupo éster da resina éster-vinílica é susceptível à hidrólise durante o envelhecimento, e este processo é acelerado e catalisado pela presença de ácidos ou bases. A alteração na intensidade de pico relativa de grupos hidroxilas (OH). A intensidade de hidrólise pode ser avaliada pela determinação da relação entre a intensidade máxima de pico de grupos OH a  $3400\text{ cm}^{-1}$  e a intensidade do pico de estiramento carbono-hidrogênio (C-H) do grupo aromático em  $3026\text{ cm}^{-1}$  [4].



**Figura 3.** Espectros de FTIR dos *rods* como-recebidos e após os diferentes tipos de exposição para envelhecimento ambiental: (a) VE30 e (b) VV30.

## Conclusões

De maneira geral, foi possível através das técnicas utilizadas, identificar a presença de umidade nos *rods* pultrudados, especialmente quando submetidos ao envelhecimento em água destilada aquecida. Pode-se comprovar que houve degradação da matriz nos *rods* com fibra de vidro pelas análises microestruturais realizadas, observando-se a presença de micro-trincas nas zonas ricas em resina e o descolamento entre fibra/matriz causados pela umidade presente nas microestruturas do compósito após os diferentes tipos de envelhecimentos.

## Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem o apoio financeiro fornecido pela PETROBRAS e ao LACAR (Laboratório de caracterização da UFRGS) pelo espaço disponibilizado para preparação das amostras.

## Referências Bibliográficas

1. Kim H., Park Y., You Y. Chang-Kwon Moon. *Composite Structures*, 2008, 83, 37–47.
2. Correia J. R., Cabral-Fonseca S., Branco F. A., Ferreira J. G., Eusébio M. I., Rodrigues M. P. *Mechanics of Composite Materials*, 2005, 42, 1-13.
3. Silva, L. V., Silva, F. W., Fracassi, W. T., Tarpani, J. R., Forte, M. M. C., Amico, S. C. in Anais 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, 2014, 3053- 3062.
4. Dewimille B., Bunsell A.R. *Composites*, 1983, 14, 35-49.
5. Kumar B. G., Singh R.P., Nakamura T. *Journal of Composite Materials*, 2002, 36.