

AVALIAÇÃO DO ENVELHECIMENTO AMBIENTAL DE COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO EXPOSTOS EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTE

Y. S. Domingos, Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Rua Adeodato José dos Reis, 595, Nova Parnamirim, yldeney@yahoo.com.br.

R.C.T.S. Felipe, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

R.N.B. Felipe, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

G.J.T. Fernandes, Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis.

RESUMO

Os compósitos poliméricos quando expostos a condições adversas, como radiação ultravioleta, altas temperaturas e umidade excessiva resultam em alterações das suas características físicas e no seu comportamento mecânico. Desta forma este trabalho objetiva realizar um estudo do comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com manta de fibra de vidro E (PRFV), quando exposto ao processo de envelhecimento ambiental em contato com efluentes urbanos de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) da cidade do Natal, Rio Grande do Norte. O compósito foi exposto por quatro meses na ETE e após este período realizou-se a avaliação da perda de massa, o ensaio de tração uniaxial e a determinação da característica da fratura final do compósito no estado original e no estado envelhecido. Foi observado apenas um pequeno aumento da rigidez e a manutenção da integridade estrutural porém observou-se uma maior quantidade de danos após a fratura no compósito envelhecido.

Palavras-chave: Compósito Polimérico, Envelhecimento ambiental, Efluente urbano, Integridade estrutural, Comportamento mecânico.

INTRODUÇÃO

As Estações de tratamento de efluentes (ETE), são sistemas que objetivam realizar o tratamento do esgoto bruto com o intuito de torná-lo adequado para seu lançamento em corpos hídricos, atendendo os níveis que a legislação ambiental exige. Essas estruturas hidráulicas, normalmente são construídas em concreto armado, que fica em constante contato com o efluente e são submetidas a diferentes mecanismos de agressão.

Os materiais utilizados nas ETE sofrem bastante a ação do meio, envelhecimento ou degradação ambiental, uma vez que ficam expostos a

atmosferas que podem comprometer suas características, podendo até modificar suas propriedades mecânicas, físicas e químicas.

Os principais fatores do envelhecimento ambiental são as variações climáticas, radiação ultravioleta, umidade relativa do ar e a temperatura, sendo as variações de umidade e temperaturas os fatores mais agravantes⁽¹⁾.

A utilização de materiais que apresentem uma maior resistência, vem sendo bastante estudada. Dentre estes os novos materiais pode-se destacar os compósitos que segundo a *American Society for Testing And Materials - ASTM D3878*⁽²⁾ é um material composto por dois ou mais materiais, insolúveis um no outro, os quais são combinados para formar um novo material com propriedades distintas dos materiais que lhes deram origem⁽²⁾.

A utilização de compósitos apresenta-se como uma alternativa, pois proporciona vantagens, tais como elevada rigidez e módulo específico, elevada resistência à corrosão e condutividade térmica, boa fluidez, estabilidade estrutural e fácil moldagem, quando comparados aos materiais de construção mais tradicionais como concreto e aço⁽³⁾.

Os materiais compósitos poliméricos têm alta resistência específica, alta rigidez específica e alta resistência a ataques de agentes químicos. Sendo bastante útil nas áreas de aplicação tais como: petroquímica e gás, produtos químicos que podem causar corrosão e deterioração das estruturas com o passar do tempo⁽⁴⁾.

Desta forma, este trabalho apresenta um estudo do comportamento mecânico, por meio da avaliação das propriedades mecânicas e da integridade estrutural de um compósito formado por resina poliéster/manta de fibra de vidro E (PRFV), quando exposto ao processo de envelhecimento ambiental e em contato com efluentes urbanos da Estação de tratamento de efluentes do Baldo (ETE do Baldo), cidade do Natal, Rio Grande do Norte. Esta estação foi construída há apenas seis anos e já está sofrendo o processo de degradação estrutural conforme figura 01.

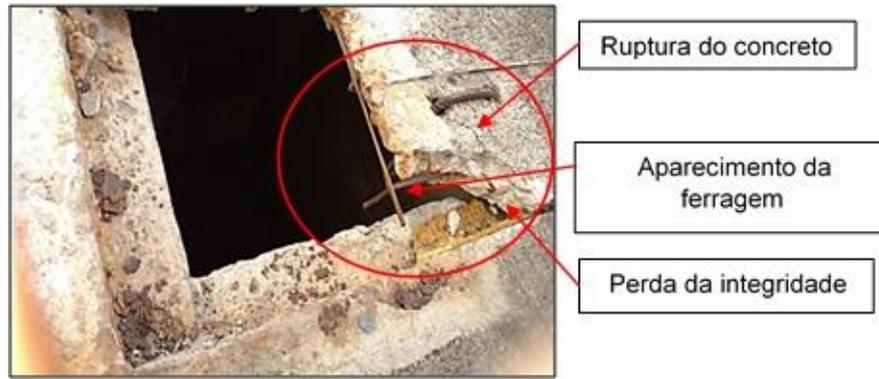


Figura 01- Dano sofrido pela estrutura em concreto armado

MATERIAIS E MÉTODOS

Confecção do compósito polimérico reforçado com fibra de vidro tipo E

Para avaliação da degradação ambiental na ETE do Baldo foi confeccionado um compósito polimérico, com manta de fibra de vidro tipo – E, gramatura de 450 g/m², como reforço e com resina poliéster insaturada ortoftálica. O processo de fabricação do compósito foi o de laminação manual (*hand lay-up*) sendo fabricado um laminado contendo três camadas de reforço. Para o processo de polimerização foi utilizado o catalisador butanox em uma proporção de 1% do volume da resina e vaselina líquida como desmoldante.

Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova (CP), figura 02, foram confeccionados utilizando uma maquina com disco de corte com fio de diamante e refrigerado a ar. Após a confecção, os corpos de prova foram lixados com lixa d'água na seguinte sequência granulométrica: 100, 320, 220, 400, 600 e 1200 grão e polidos com alumina de 70 µm na politriz metalográfica. Suas dimensões foram estabelecidas segundo as normas ASTM D792-13⁽⁸⁾ e D3039-14⁽⁶⁾.



Figura 02- Corpos de prova a) para o ensaio de tração uniaxial, b) para ensaio de densidade.

Os corpos de prova foram submersos no efluente da ETE do baldo por um período de 4 meses. Após o período de exposição os corpos de prova passaram por

ensaios mecânicos para a avaliação das suas propriedades tanto no estado original como após o envelhecimento ambiental na respectiva Estação de Tratamento de Efluentes.

Caracterização da área de estudo

Os corpos de provas confeccionados a partir do compósito laminado polimérico reforçado com fibra de vidro tipo E foram expostos na Estação de Tratamento de Esgoto do Sistema Central de Natal (ETE do baldo) localizada no bairro do Alecrim, Natal, Rio Grande do Norte.

Caracterização do Efluente

Para a realização do processo de envelhecimento ambiental os corpos de provas foram submersos no efluente urbano da ETE do Baldo. O efluente foi caracterizado mediante os ensaios e metodologias descritas abaixo (tabela 1).

Tabela 1 - Ensaios, métodos e técnicas de análise para caracterização do efluente da ETE do Baldo

Ensaio	Metodologia	Técnica de análise
pH	APHA 4500-H ⁺ B	Potenciometria
Temperatura	APHA 2550-A	Pirômetro ótico
Condutividade	APHA 2510-A	Condutivimetria
Acidez	APHA 2310-B	Titulometria
Alcalinidade	APHA 2320-A	Titulometria
Sulfato	APHA 2340-C	Turbidimetria
Sulfeto	APHA 4500-G	Titulometria

Caracterização do Compósito

A caracterização do compósito laminado produzido foi realizada mediante a avaliação dos ensaios de densidade volumétrica e calcinação para a determinação das frações volumétricas de reforço, matriz e vazios.

Para a determinação da densidade volumétrica foi utilizada a norma ASTM D792-13⁽⁸⁾, para tanto foram confeccionados 5 corpos de prova e retirada uma média

entre os respectivos valores, fazendo uso de uma balança analítica, marca Bioprecisa FA2104N, com resolução de 0,1 mg.

A determinação das frações volumétricas de reforço, matriz e vazios foi realizada através do ensaio de calcinação, conforme a norma ASTM D3171-15⁽⁷⁾, nele os corpos de prova foram colocados em um forno tipo mufla onde foram pirolizados por um período de 50 min numa temperatura de 750 °C, ao término do ensaio foi determinado a massa residual de fibras e assim calculados os outros teores de matriz e vazios seguindo a respectiva norma.

Ensaio de envelhecimento

Os ensaios para avaliação do envelhecimento sofrido pelo compósito foram realizados antes da exposição deste na ETE e após quatro (04) meses de exposição. Os ensaios realizados para avaliação do envelhecimento ambiental foram a avaliação morfológica, avaliação da integridade estrutural dos compósitos, desempenho mecânico e a caracterização da fratura final.

Para a avaliação morfológica avaliou-se as possíveis alterações na coloração e qualquer outra mudança ocorrida na superfície do compósito, antes e após a exposição na ETE através de um *scanner*, marca HP photosmart C4280. Foi realizada também uma microscopia ótica, através de um microscópio da Marca Olympus MG, com intuito de avaliar fissuras, presenças de vazios e configuração, disposição das fibras e qualquer outra mudança ocorrida na superfície do compósito, antes e após a exposição na ETE.

Para a avaliação da integridade Estrutural dos compósitos foram utilizadas duas técnicas distintas. A técnica de medição da variação de massa (TMVM) e a técnica de medição da variação da espessura (TMVE). Nas TMVM determina a variação de massa e a variação de espessura, respectivamente dos CP quando expostos ao efluente (envelhecidos).

Para a determinação do desempenho mecânico foi realizado o ensaio de tração uniaxial com o equipamento de ensaio universal mecânica da marca Shimadzu, modelo AGI-250 KN, com velocidade de carregamento de 1,0 mm/min. O procedimento para a realização deste ensaio está descrito na norma ASTM D3039-14⁽⁶⁾.

Para a caracterização da fratura foi utilizado os mesmos corpos de prova que passaram pelo ensaio de tração uniaxial, antes e após a exposição na ETE. A caracterização macrográfica da fratura foi realizada mediante codificação, seguindo a norma ASTM D3039-14⁽⁶⁾ para o caso dos CP fraturados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do compósito

Na tabela 02 será apresentada a caracterização do compósito polimérico reforçado com fibra de vidro E, quanto aos teores de reforço, vazios e matriz, bem como a sua densidade. A partir dos resultados apresentados, observa-se que os teores de vazios se encontram dentro dos valores conforme literatura⁽⁵⁾.

Tabela 02 – Frações volumétricas de reforço, vazios e matriz

	Densidade (g/cm³)	Teor de fibra de vidro (%)	Teor de matriz (%)	Teor de vazios (%)
Compósito (PRFV)	1,46 ± 0,01	19,00 ± 1,00	79,00 ± 1,00	2,00 ± 0,01

Avaliação morfológica

Na análise da superfície do compósito, realizada através a visualização macroscópica com o scanner, foi possível observar a ocorrência de uma discreta mudança de coloração, com um tom mais escuro nos corpos de prova envelhecidos e a tendência do aparecimento das fibras na superfície, sendo evidenciada pelas marcas profundas desses reforços, conforme tabela 03.

Tabela 03 – Análise da superfície do compósito através do scanner

Número de dias de exposição	Compósito polimérico - submerso no efluente
0 dias (Estado original)	
4 meses (Estado envelhecido)	

A alteração na cor do compósito, quando submetido ao envelhecimento ambiental, é um indicativo de oxidação⁽¹⁰⁾. Neste caso como o local onde estava exposto os corpos de prova era protegido da radiação solar, é atribuído essa mudança de coloração principalmente a oxidação térmica e química⁽¹¹⁾.

No envelhecimento químico inclui principalmente as mudanças químicas na estrutura do polímero devido a elevada temperatura e pela presença de oxigênio, bem como a deterioração progressiva da matriz e da interface fibra/matriz, sob a forma de cisão da cadeia, perda de massa, fissuras e oxidação dos elementos que contem carbono⁽⁷⁾.

A caracterização do efluente, apresentado na tabela 04, mostra que o efluente não apresenta uma acidez elevada 49,40 mg/L de H⁺ e pH 6,98. A alcalinidade média do efluente foi de 218, 23 mg/L de CaCO₃, que representa a concentração dos íons OH⁻ e que juntamente com os demais íons facilitam no transporte do oxigênio para o interior do compósito e na sua progressiva deterioração^(9,12).

Tabela 04 – Caracterização média do efluente do Baldo, Natal, RN.

Ensaio	Concentração
pH	6,82
Condutividade	1040,22 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Temperatura	29,44 °C
Sulfato	5,78 mg SO ₄ ⁻² /L
Sulfeto	0,74 mg S ⁻² /L
Acidez	49,40 mg CaCO ₃ /L
Alcalinidade	218,23 mg CaCO ₃ /L

Avaliação da Instabilidade Estrutural

Na figura 03, são apresentados os valores das massa e espessura dos CP antes e após exposição, sendo estes determinados pelas técnicas (TMVM) e (TMVE), respectivamente. Foi verificado que após o período do envelhecimento que praticamente não houve perda de massa e espessura no CP envelhecido, isso é algo muito positivo pois apesar de ser um curto período de tempo de exposição, o compósito se mantém íntegro.

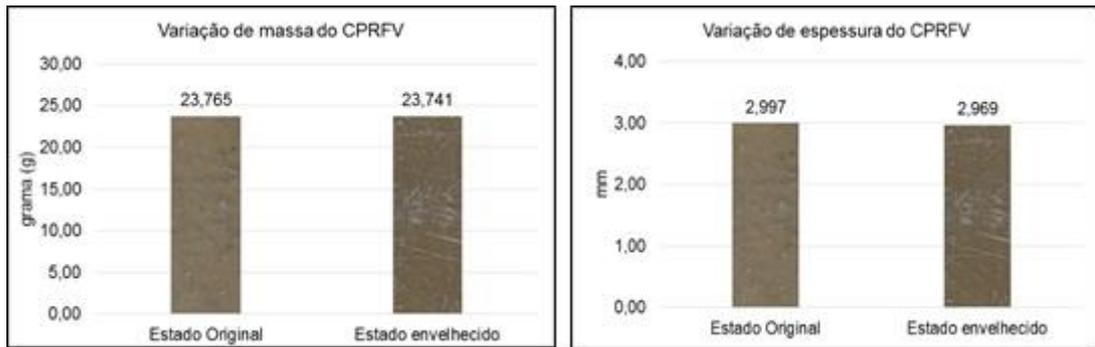


Figura 03 - Variação de massa e espessura do CFRP.

Ensaio mecânicos

O comportamento mecânico do material antes e após o processo de envelhecimento na ETE pode ser observado na tabela 06. Comparando os valores das propriedades mecânicas do material no estado original e após o período de envelhecimento, é perceptível uma diminuição apenas na rigidez e que as outras propriedades mecânicas praticamente se mantiveram constantes após período de exposição. Os valores das respectivas propriedades foram determinados a partir da média de cinco corpos de prova, conforme estabelecido na norma ASTM D3039⁽⁶⁾. O módulo de elasticidade foi obtido a 50% da deformação total sofrida pelo material, figura 05.

Tabela 05 – Propriedades de tração uniaxial do PRFV

	Resistência Última (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Deformação de ruptura (%)
Compósito (CFRPV) no estado original	90,23 ± 8,7	1,94 ± 0,18	4,59 ± 0,31
Compósito (CFRPV) submerso no efluente	89,64 ± 4,86	2,02 ± 0,11	4,45 ± 0,23

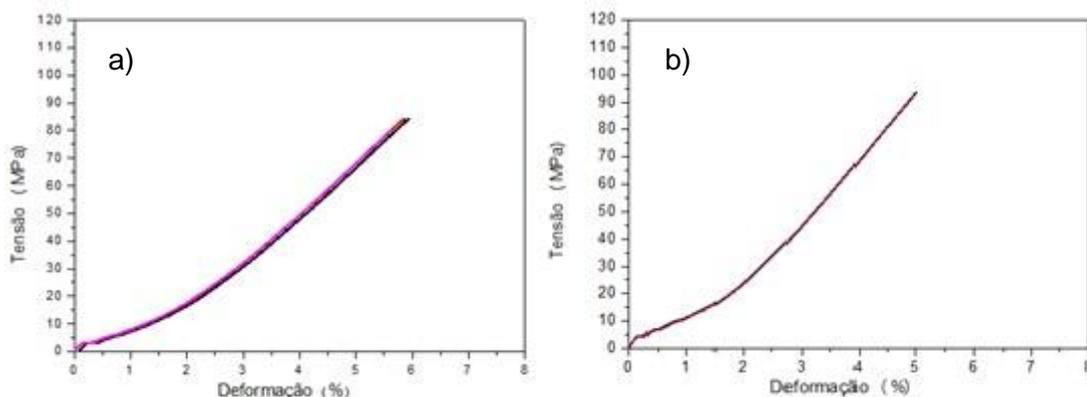


Figura 04 – Ensaio de tração uniaxial no compósito polimérico reforçado com fibra de vidro E – a) no estado original b) Após envelhecimento na ETE (4 meses de exposição)

Como pôde ser observado na tabela 05 e na figura 04 ocorreu uma perda sutil do limite de resistência à tração de 0,65 % podendo ser considerada como uma não variação, da mesma forma referente à deformação quando comparado o compósito envelhecido com o estado original. Quanto ao módulo de elasticidade houve um leve aumento da rigidez correspondente a 4,12% quando comparado as duas condições de ensaios. Além disso, para todos os gráficos observa-se um comportamento praticamente linear dos compósitos.

Caracterização morfológica da fratura final

Microscopia ótica

Na figura 05 observa-se que ao término do ensaio de tração uniaxial do corpo de prova (CP) no estado original, fissura perpendicular na região de tração que se prolonga para a região de fratura final, sendo caracterizada por coesiva na matriz.

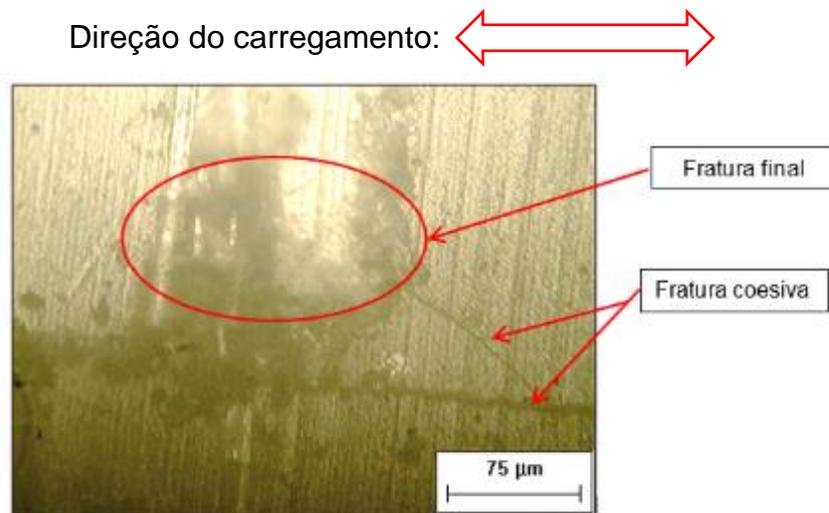


Figura 05 – Característica da fratura do CP de tração – Envelhecida

Na figura 06 observa-se após realização do ensaio de tração uniaxial do CP condicionado, observa-se fissura perpendicular à região de carregamento de tração, além disso, verifica-se fratura coesiva na matriz, desaderência fibra/matriz e fratura coesiva na fibra.



Figura 06 – Característica da fratura do CP de tração – Envelhecido.

CONCLUSÕES

Após a realização da pesquisa foi observado que houve um pequeno aumento na rigidez do compósito envelhecido e no que se refere as avaliações de massa e espessura foi detectado que os valores permaneceram praticamente constantes quando comparadas o compósito no estado original com o envelhecido. Quanto a característica da fratura final para ambas as condições (original e envelhecida) foi detectada fratura coesiva na matriz; porém observou-se nas condições envelhecida uma maior quantidade de dano para a região de análise.

REFERÊNCIAS

- 1 - KABLOV et al. Climatic Aging of Composite Aviation Materials: III. Significant Aging Factors. Russian Metallurgy (Metally). vol. 2012, n. 4, p. 323–329, 2012.
- 2 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3878-15: standard Terminology for Composite Materials. USA, 2015.

3 - VENTURA, Ana Mafalda F.M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. Ciência e Tecnologia dos Materiais. v.21 n.3-4 Lisboa jul. 2009.

4 - LEÃO, M.A.; TINO, S. R. L.; AQUINO, E.M.F. Accelerated environmental aging effects in structural integrity of licuri fiber reinforced plastics. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2015, Vol. 34(5) 351–363, 2015.

5) HULL, D.; CLYNE, T. W. An introduction to composite materials. 2.ed. Cambridge: University press, 1996.

6 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3039-14: standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. USA, 2014

7 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3171-15: standard test methods for constituent content of composite materials. USA, 2015.

8 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D792-13: standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement. USA, 2013.

9 - FAN, W. et al. Influence of thermo-oxidative aging on the thermal conductivity of carbon fiber fabric reinforced epoxy composites. Polymer Degradation and Stability, v. 123, p. 162-169, 2016.

10 - FELIPE, Renata Carla Tavares. Santos. Envelhecimento ambiental acelerado em PRF a base de tecidos híbridos kevlar/vidro: propriedades e instabilidade estrutural.2012a. 163 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio grande do Norte, 2012a.

11 - NICHOLAS, J. et al. Effects of accelerated environmental aging on glass fiber reinforced thermoset polyurethane composites. Composites Part B: Engineering. v. 94, p.370–378, 2016.

12 - AGNELLI, J. A.M.; CHINELATTO, M. A. Degradação de Polipropileno: aspectos teóricos e recentes avanços em sua estabilização. Polímeros: Ciência e Tecnologia. Jul / Set, 1992.

AGING ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF COMPOSITE POLYMER STRENGTHENED WITH EXPOSED GLASS FIBER IN WASTEWATER TREATMENT PLANT

ABSTRACT

Polymeric composites when exposed to adverse conditions such as UV radiation, temperature and moisture result in changes in their physical and mechanical behavior. Thus this study aims to carry out a mechanical study of behavior of polymer composite reinforced fiber glass-E (PRP) , when exposed to environmental aging in contact with urban wastewater from a treatment plant of the city of Natal effluents, Rio Grande do Norte. The composite was exposed for four months in a sewage treatment plant at the of the exposure period the specimens were subjected to test of uniaxial and to the characterization of the fracture and surface degradation. It has been observed only a small increase in stiffness and maintenance of structural integrity but there was a higher amount of damage after fracture composite conditioning.

Key-words: Polymeric composite, Environmental aging, Urban effluent, Structural integrity, Mechanical behavior.