

## **AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO QUANDO EXPOSTO AO ENVELHECIMENTO NATURAL**

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.

M. W. F. Rocha, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

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

### **RESUMO**

*O uso de compósitos na indústria em geral vem crescendo em larga escala, seja na utilização em situações que exijam grandes solicitações ou não. No que diz respeito a sua aplicação, os mesmos podem ser utilizados na indústria aeroespacial, médica, automobilística entre outras indústrias. Neste trabalho objetiva-se fazer um estudo do comportamento mecânico das propriedades mecânicas e de fratura do compósito formado por de resina poliéster/manta de fibra de vidro E (PRFV), quando exposto ao envelhecimento ambiental. O compósito foi confeccionado mediante o processo de fabricação hand lay-up sendo obtidos corpos de prova para a realização dos ensaios de tração uniaxial utilizando ASTM D3039-14, objetivando a determinação das propriedades mecânicas e característica da fratura final do PRFV quando expostos ao envelhecimento ambiental. Após a determinação dessas propriedades foi detectado uma perda na resistência e rigidez à tração, além de uma maior quantidade de dano no compósito envelhecido.*

**Palavras Chaves:** Material composto, PRFV, propriedades mecânicas, característica da fratura.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria em geral, nos últimos anos cresceu amplamente. Com este crescimento ocorreu à implantação de várias empresas, fomentando o desenvolvimento do mercado de muitas áreas para o atendimento da respectiva demanda. Acrescentando ainda, a utilização de novos materiais tem sido um viés desafiador em todas as áreas. Quando direcionamos para a indústria seja de

consumo ou de serviços, é muito incipiente o uso de compósitos quando comparamos com os materiais ditos convencionais como os metálicos, apontando desta forma, a necessidade de pesquisas na área. Dados mostram que direto ou indiretamente, os danos causados pela corrosão e desgaste apontam para ordem de bilhões de dólares. Além disso, pesquisas mostram que nos países desenvolvidos 5% do PIB é gasto com desgastes e 5% com corrosão<sup>(1, 2)</sup>.

A característica básica dos materiais compósitos é combinar a nível macroscópico, pelo menos duas fases distintas (matriz e reforço). Abrange desde os polímeros reforçados com fibras, os materiais híbridos metal/compósito e os concretos estruturais, e outros compósitos que incorporam matriz metálica ou matriz cerâmica. Os compósitos podem ser divididos em naturais e sintéticos, e os reforços em um compósito podem consistir-se de fibras ou partículas<sup>(3)</sup>.

Um fator determinante diz respeito no desempenho de um compósito frente aos mais diversos tipos de solicitações são as frações volumétricas de fibras ( $V_f$ ), matriz ( $V_m$ ) e vazios ( $V_v$ ). Estes parâmetros são usados para quantificar os volumes percentuais de cada componente (fibras, matriz e vazios, respectivamente), em relação ao volume total de um compósito. Os valores de  $V_f$  e  $V_m$  em qualquer tipo de compósito são determinados pelo processo de fabricação adotado e dentro de certos limites. Deseja-se que os valores de  $V_v$ , particularmente, em compósitos poliméricos, sejam menores que 1% do volume, pois os vazios são prejudiciais ao desempenho mecânico dos compósitos<sup>(4)</sup>.

Quando se trabalha com os compósitos, principalmente os plásticos reforçados por fibras de vidro (PRFV), o mecanismo de dano nestes materiais é bastante complexo, no entanto sabe-se que são materiais que possuem uma excelente resistência à corrosão, aspecto bastante relevante a ser considerado, já que este dano é muito visível nas instalações industriais e de construção civil, além disso estes materiais, são leves e possuem propriedades mecânicas específicas superiores aos materiais ditos convencionais como o aço.

Os materiais compósitos têm aplicações nos mais diversos setores como na indústria aeroespacial, construção civil, em artigos esportivos entre outros. Porém as propriedades mecânicas dos compósitos são fortemente influenciadas por muitos fatores tais como tipo de reforço, adesão fibra/matriz, condições de serviços nas quais estão submetidos, das configurações das camadas (caso dos laminados),

arranjos e processos nos quais estes foram fabricados. Logo todos estes fatores fazem com que ocorra uma limitação do campo de aplicação destes materiais<sup>(5,6)</sup>.

No que se refere aos polímeros quando submetidos à radiação ultravioleta, os mesmos possuem uma baixa resistência, chegando inclusive a variação de cor e se tornando um material quebradiço<sup>(7)</sup>. Também é importante dizer que durante o processo de radiação UV há a emissão de fótons que são absorvidos pelo material polimérico, resultando numa alteração química da estrutura devido a uma reação foto-oxidativa na superfície sendo finalizada pelo processo de deterioração do polímero<sup>(8)</sup>. Diante deste comportamento, espera-se que o compósito formado por matriz polimérica venha sofrer o mesmo mecanismo.

O comportamento mecânico dos polímeros quando submetidos por determinado tempo a uma temperatura específica, este influencia no comportamento viscoelástico do material, ou seja, aumentando ou diminuindo a temperatura de transição vítrea. Desta forma, ao se confeccionar um compósito com matriz polimérica ocorrerá o mesmo fenômeno, influenciando no comportamento mecânico deste compósito<sup>(9)</sup>.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo verificar a influência nas propriedades mecânicas do compósito quando exposto ao envelhecimento ambiental natural. Para tanto, foi confeccionado um material composto (PRFV) utilizando como matriz a resina poliéster ortoftálica e como material de reforço manta de fibra de vidro E, mediante o processo de fabricação *hand lay-up*.

Após a obtenção deste material foram confeccionados corpos de provas, onde parte desses corpos de prova, foram expostos ao envelhecimento ambiental (exposto ao ambiente externo natural) por um período de 60 dias, ao término desse período de exposição, foram submetidos ao ensaio mecânico de tração uniaxial utilizando a norma ASTM D3039-14, com o intuito de se verificar o comportamento mecânico deste material quando envelhecido. Após a realização deste ensaio foi realizada uma análise comparativa das propriedades mecânicas e característica da fratura final do compósito antes e após condicionamento, objetivando determinar a influência do envelhecimento nas respectivas propriedades mecânicas ao longo do período de exposição.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para a fabricação do compósito foi a resina poliéster insaturada orto-tereftálica L-20, como material de reforço manta de fio picados de fibra de Vidor do tipo – E com gramatura de 400 g/m<sup>2</sup> e para o sistema catalítico usou-se o butanox (peróxido de metil-etil-cetona) na proporção de 1% em volume com relação à resina, além de vaselina líquida como desmoldante. O compósito foi fabricado mediante o processo de fabricação de hand-lay-up conforme figura 01 e contendo no final do processo três camadas de reforço.

Os equipamentos utilizados para a realização da pesquisa foram o scanner da marca HP Photosmart C4280, o microscópio ótico da marca Olympus MG e a máquina de ensaio estático/dinâmico da marca Shimadzu modelo Controller 4830.



Figura 01 – Processo de fabricação – *hand Lay-up*

Após o processo de fabricação do laminado foram confeccionados os corpos de prova conforme a norma de tração (ASTM D3039-14)<sup>(10)</sup>, sendo divididos em duas séries de 8 corpos de prova cada, conforme figura 02, onde uma o material foi ensaiado no estado original e após a exposição ao envelhecimento natural por um período de 60 dias, com o objetivo de verificar se houve ou não perda das propriedades mecânicas; sendo estes expostos ao sol e chuva, ou seja as condições ambientais naturais, numa temperatura média de 28,5 °C e umidade de 60%.

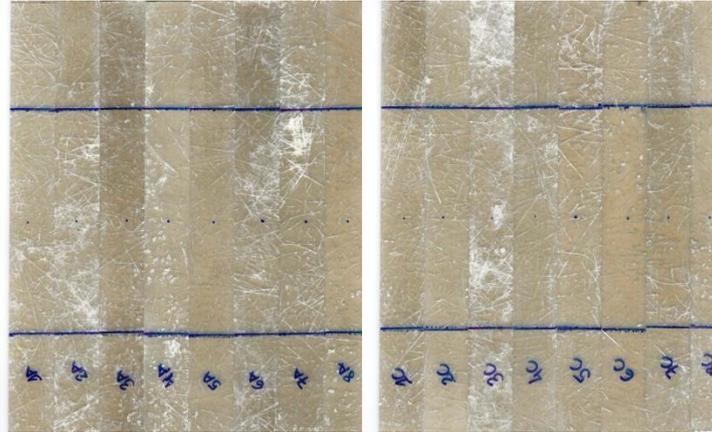


Figura 02 – Corpos de prova de tração (Série A – Original e Série C – Envelhecido)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização do compósito

Na tabela 01 apresentamos a caracterização do compósito (PRFV) quanto aos teores de reforço, vazios e matriz, bem como a sua densidade. Para determinação da densidade volumétrica os corpos de provas foram pesados submerso e emerso em água destilada, com temperatura controlada. Com os dados obtidos foi possível determinar a relação entre a massa e o volume do compósito polimérico reforçando com fibra de vidro E.

Tabela 01 – Frações volumétricas de reforço, vazios e matriz

	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de fibra de vidro (%)</b>	<b>Teor de matriz (%)</b>	<b>Teor de vazios (%)</b>
Compósito (PRFV)	1,46 ± 0,01	19,00 ± 1	79,00 ± 1	2 ± 0,01

### Análise da superfície após o período de exposição

Os corpos de prova foram envelhecidos por um período de 2 meses e ao término do período de exposição, pode ser visto na figura 03 o processo de foto-oxidação, ou seja, variação de cor, que o compósito sofreu após exposição.

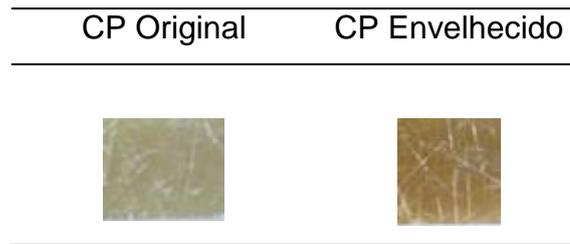


Figura 03 – Análise das superfícies na condição original e envelhecida.

O processo de foto-oxidação, também foi apresentado no trabalho desenvolvido por Zainuddin<sup>(11)</sup>. Essa variação de cor também é provocada pela presença da umidade sob a forma de gotículas de água na superfície, aumentando assim as reações de foto-oxidação devido ao aumento de íons de  $\text{OH}^-$  e  $\text{H}^+$ <sup>(12)</sup>.

### Ensaio Mecânicos

No que se refere ao comportamento mecânico do material após o processo de envelhecimento; e comparado os valores que podem ser observados na tabela 02, do material no estado original e após o período de envelhecimento, vê uma diminuição das suas propriedades mecânicas. Os valores das respectivas propriedades foram determinados a partir da média de cinco corpos de prova, conforme estabelecido na norma ASTM 3039. O módulo de elasticidade foi obtido a 50% da deformação total sofrida pelo material. Além disso, observa-se que os dois laminados, no estado original e envelhecido, apresentam perfis semelhantes referentes ao gráfico tensão x deformação, tendo então um comportamento quase linear até a fratura final.

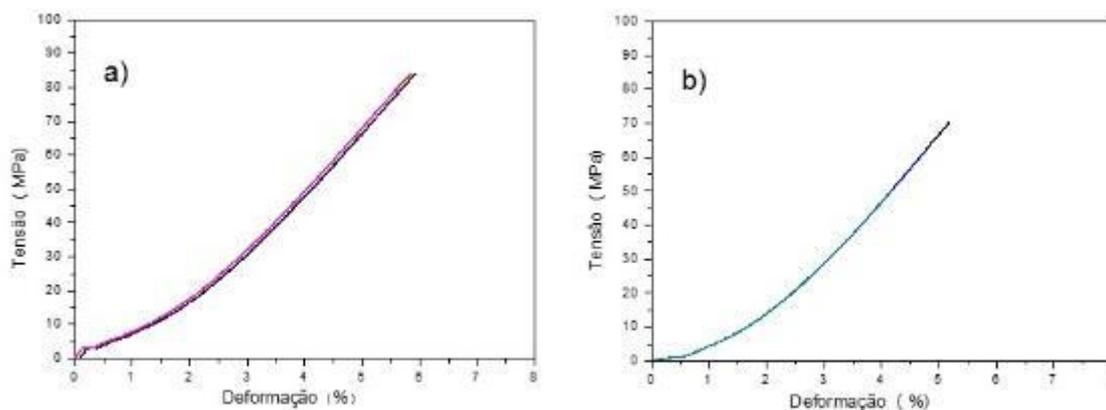


Figura 04 – Ensaio de tração uniaxial no compósito polimérico reforçado com fibra de vidro E – a) no estado original b) Após envelhecimento natural (60 dias de exposição)

Tabela 02 – Propriedades Mecânicas de Tração

<b>Condição de Ensaio</b>	<b>Tensão (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (GPa)</b>	<b>Deformação (%)</b>
Original	90,23 ± 8,7	1,94 ± 0,18	4,59 ± 0,31
Envelhecido	73,88 ± 12,9	1,72 ± 0,16	4,54 ± 0,40

Como pode ser observado na tabela 02, verifica-se uma perda de aproximadamente 18% do limite de resistência à tração, de 11,34% do módulo de elasticidade do compósito envelhecido e que praticamente não houve perda da deformação quando comparadas as duas condições de ensaios.

Essa perda da resistência e da rigidez do compósito aconteceu devido ao processo de foto-oxidação que o material sofre quando exposto a ambientes que contenham luz, que neste caso foi a luz solar; e também devido à chuva e vento, uma vez que os corpos de prova foram expostos durante o período de dezembro a fevereiro. O mecanismo de perda das propriedades após o envelhecimento ambiental foi observado também no trabalho desenvolvido por Zainuddin<sup>(11)</sup>.

#### Caracterização morfológica da fratura final

Referente a característica da fratura final do corpo de prova tracionado tanto no estado original como no estado envelhecido segundo a norma ASTM 3039-14 foi do tipo LGM (*lateral gage midlle*), conforme figura 05.

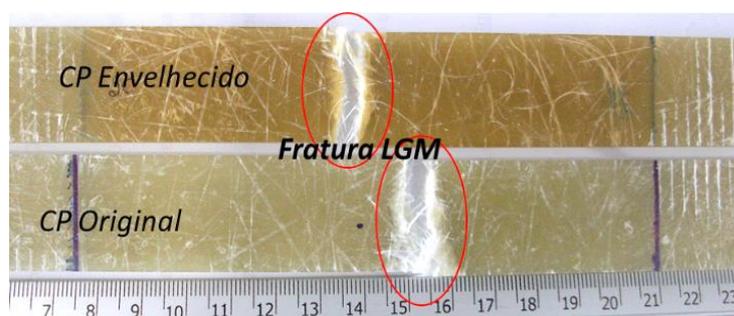


Figura 05 - Característica da fratura final na condição original e envelhecida.

Na figura 06 observa-se após a realização 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.

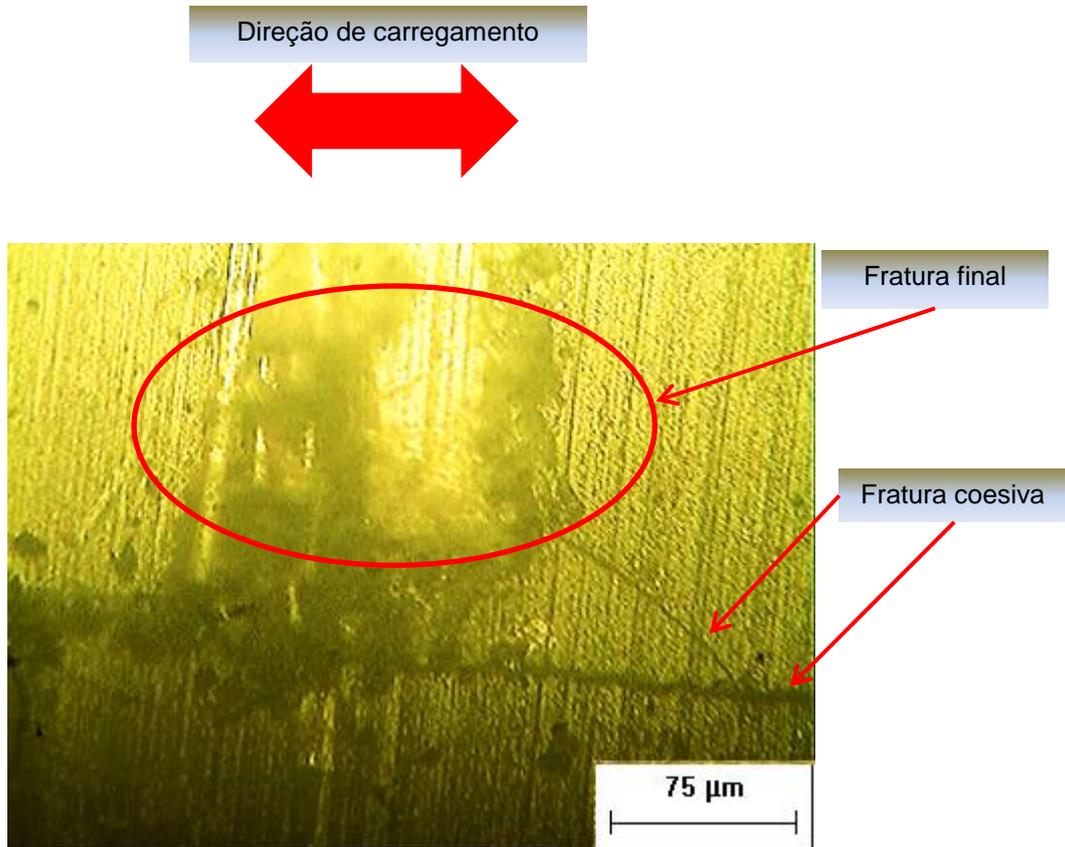


Figura 06 – Característica da fratura do CP de tração – Original.

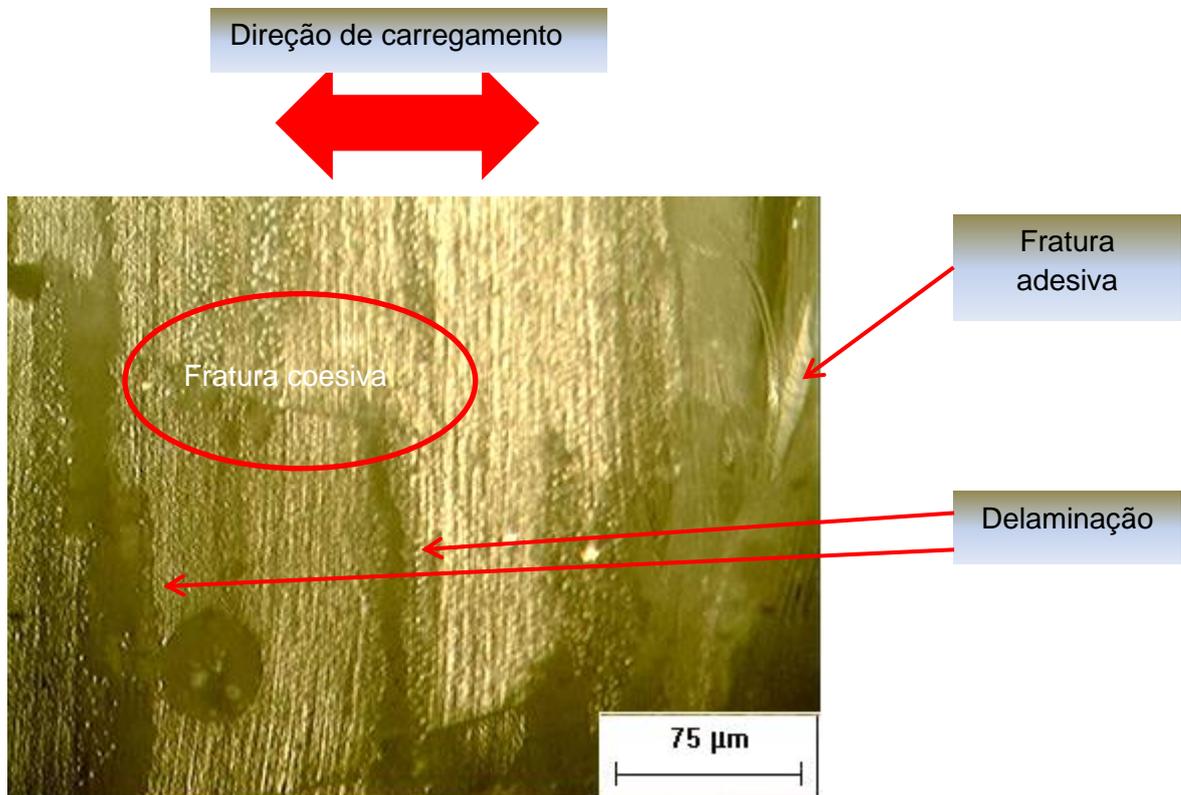


Figura 07 – Característica da fratura do CP de tração – Envelhecido.

Na figura 07, após o envelhecimento, pôde ser observado após realização do ensaio de tração uniaxial do CP, fratura adesiva sendo evidenciada pela presença das fibras, verifica-se ainda a presença de fissuras perpendicular ao carregamento, onde a mesma caminha entre as fibras, atravessando a matriz; provocando a fratura coesiva na matriz; e ainda essa mesma fissura ocasionando uma delaminação com algumas desaderências fibra/matriz.

## CONCLUSÕES

Após a realização da pesquisa foi observado que houve uma perda nas propriedades mecânicas de tração uniaxial do compósito quando exposto ao envelhecimento ambiental. Quanto a característica da fratura final para ambas as condições (original e envelhecida) foi do tipo LGM (*lateral gage middle*) e uma maior quantidade de danos no compósito envelhecido, logo pode se concluir que ao fabricar um compósito para se exposto nestas condições é importante fazer um uso de um coeficiente de segurança para a elaboração do projeto; para que o elemento mecânico atenda as condições de projeto e de uso ao longo da sua vida útil.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do RN (IFRN) pela concessão da bolsa de iniciação científica concedida a aluna conforme o edital Nº 08/2015-PROPI/IFRN.

## REFERÊNCIAS

- 1 - TECHNOLOGIES LABORATORIES. Disponível em: <http://www.atlintl.com/index.html>. Acesso em: 14 de set. 2016.
- 2 - Federal Highway (FHWA). Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/>. Acesso em: 14 de set. 2016.
- 3 - MARINUCCI, G. Materiais Compósitos Poliméricos. São Paulo: Artliber Editora, 2011.
- 4 - FLAMÍNIO, L. N. E PARDINI, L. C. Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia – 1 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.
- 5 - RAMAKRISHNA H. V.; RAÍ, S. K. “Effect on the mechanical properties and water absorption of granite powder composites on toughening epoxy with unsaturated

polyester and unsaturated polyester with epoxy resin". Journal of Reinforced Plastic and Composites. v. 25, n.1, p. 17-32, 2006.

- 6 - XUE, P.; CAO, J.; CHEN, J. Integrated micro/macro-mechanical model of woven fabric composites under large deformation. Composite Structures, v. 70, p. 69-80, 2005.
- 7 - JOSEPH, P.V. et al. Environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites. Composites Science and Technology. v. 62, p.1357–1372, 2002.
- 8 - KUMAR, B. G.; SINGH R. P.; NAKAMURA, T. Degradation of carbon fiber-reinforced epoxy composites by ultraviolet radiation and condensation. Journal of Composite Materials. v. 36, n.24: p.2713- 2733, 2002.
- 9 - NODA, J.; NAKADA, M.; YASUSHI MIYANO, Y. Temperature dependence of accumulation of fiber breakages under tensile loading for unidirectional cfrp laminates. Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 27, n. 10, p. 1005-1019, 2008.
- 10 - ASTM D 3039: "Standard Test Method for Tensile Properties of Oriented Fiber Composites", 2006.
- 11 - ZAINUDDIN, S. et al. Effects of ultraviolet radiation and condensation on static and dynamic compression behavior of neat and nanoclay infused epoxy/ glass composites. Journal of Composite Materials. p. 1-18, 2011.
- 12 - FELIPE, R. C. T. S. Envelhecimento Ambiental Acelerado Em PRF A Base De Tecidos Híbridos Kevlar/Vidro: Propriedades E Instabilidade Estrutural – Tese de Doutorado, Universidade Federal do RN, Natal, p. 171, 2012.

## **EVALUATION BEHAVIOR OF COMPOSITE POLYMERIC MECHANIC REINFORCED GLASS FIBRE WHEN EXPOSED TO NATURAL AGING**

### **ABSTRACT**

*Use of composites in the industry in general is something that has grown on a large scale is in use in situations that require large requests or not. Regarding their application, they can be used in aerospace, medical, automotive and other industries. In this work the aim is to make a study of the mechanical behavior of the composite mechanical properties and fracture formed by polyester resin / glass fiber mats E (GRP), when exposed to environmental aging. Therefore, this composite will be made by the hand manufacturing process hand lay-up and obtained specimens to of uniaxial tensile tests using ASTM D3039-78, in order to determine the mechanical properties and characteristics of the final fracture of GFRP when exposed environmental aging. After determination of these properties a loss in tensile strength*

*and stiffness has been detected, and a greater amount of damage in aged composite.*

KEYWORDS: Composite material, FRP, mechanical properties characteristic of fracture.