

INFLUENCIA DA ANISOTROPIA NO ENVELHECIMENTO AMBIENTAL EM PRFV

S. R. L. Tinô

Centro de Tecnologia, Campus Universitário, Lagoa Nova, Natal – RN/Brasil, CEP:
59072-970. E-mail: sergiorlt@yahoo.com.br

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM; Programa
de Pós-graduação em Ciências e Engenharia de materiais/PPGCEM e Instituto
Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Goiás/IFG

A. C. de M. C. Batista

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM

R. S. Fontes

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM

E. M.F de Aquino

UFRN – Programa de Pós-graduação em Engenharia mecânica/PPGEM

RESUMO

As respostas dos compósitos estão diretamente relacionadas com seus constituintes e principalmente com a distribuição e a orientação das fibras com relação à direção de aplicação da carga (anisotropia). A propriedade de anisotropia torna-se, inclusive, um limitante em termos de aplicação para os materiais compósitos na forma de estrutura laminar. Aliado a este fator, diversas aplicações de PRFV exigem resistência à exposição de intempéries. Buscando analisar as influências da anisotropia e da integridade estrutural frente às intempéries, neste trabalho, analisa-se um laminado compósito envolvendo a presença de quatro camadas de tecido bidirecional de fibra de vidro/E e impregnadas com resina de poliéster orto-tereftálica. Duas configurações, direções 0/90° e $\pm 45^\circ$, são avaliadas pela Técnica de Medição de Variação de Massa (TMVM) e Técnica de Medição de Variação de Espessura (TMVE). Percebe-se uma boa aproximação entre a TMVM e TMVE.

Palavras-chaves: PRFV, envelhecimento ambiental, anisotropia.

INTRODUÇÃO

Os materiais compósitos poliméricos a base de fibras de vidro, também denominados de Plástico Reforçados de Fibras de Vidro (PRFV), são afetados por vários fatores que influenciam nas propriedades mecânicas em geral, como: processo de fabricação, orientação da fibra com relação à direção da carga aplicada

(anisotropia), configuração do compósito, percentual e tipo de fibra, percentual e tipo de resina, formas de carregamentos, mecanismo de dano, a qualidade da interface entre fibra/matriz e/ou entre as camadas de um laminado, a presença de condições adversas de umidade e temperaturas e principalmente as propriedades dos elementos constituintes ⁽¹⁻⁵⁾.

Um dos tecidos mais utilizados como reforço para os materiais compósitos é o bidirecional, seja com as fibras orientadas a 0/90° ou a $\pm 45^\circ$ com relação à aplicação da carga. Neste último caso, inclusive, quando impregnado em uma matriz recebe o nome de compósito equiangular ^(1,6). Quando o material compósito apresenta fibras orientadas a 0/90°, num ensaio de tração uniaxial essas tensões são passadas à fibra, enquanto que para o laminado compósito equiangular sob um carregamento de tração uniaxial, o laminado fica submetido diretamente às direções em que atuam as tensões cisalhantes ⁽⁷⁾.

No que diz respeito à influência do envelhecimento ambiental em compósitos poliméricos pode ocorrer à degradação da matriz polimérica, do reforço ou do sistema como um todo. Em termos de condições de serviços, na ausência de qualquer forma radiação e/ou operando à temperatura ambiente, a maioria dos polímeros apresentam-se estáveis por longos períodos de tempo. No entanto, sob a luz do sol (radiação UV) a taxa de oxidação dos polímeros é acelerada e este efeito pode ser exacerbado pela presença de poluentes atmosféricos, como o nitrogênio e óxidos de enxofre, que são componentes frequentes em atmosferas industriais ⁽⁸⁾.

Logo, o presente trabalho estuda a influência do efeito do envelhecimento ambiental (Vapor aquecido e radiação UV) sob a integridade estrutural de um laminado compósito polimérico reforçado com tecido bidirecional de fibras de vidro/E, levando em conta a propriedade da anisotropia, ou seja, considerando diferentes direções das fibras (no corte dos corpos de prova), mais especificamente com fibras a 0/90° e $\pm 45^\circ$. Este estudo se dá a partir das técnicas experimentais de medição de perdas de massa e espessura, definidas como **TMVM** e **TMVE**, respectivamente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais utilizados e configuração do laminado

O laminado compósito proposto para estudo é constituído por um reforço de quatro camadas do tecido bidirecional (balanceado) de fibra de vidro-E com uma gramatura de 600 g/m² (fabricado pela empresa TEXIGLASS, de nome comercial WR-600/3-1) e como matriz foi utilizado a resina de poliéster insaturada orto-tereftálica, com especificação técnica Novapol – L120. O laminado compósito foi estudado para dois tipos de corpos de prova (CP's), cujas configurações são definidas como 0/90° e $\pm 45^\circ$. A Fig. 1 ilustra a configuração do laminado, aqui definido como **LT**, e as direções que os CP's foram cortados. Ressalta-se que a camada de resina é apenas uma representação, já que as mesmas são impregnadas diretamente nas camadas de reforço do laminado.

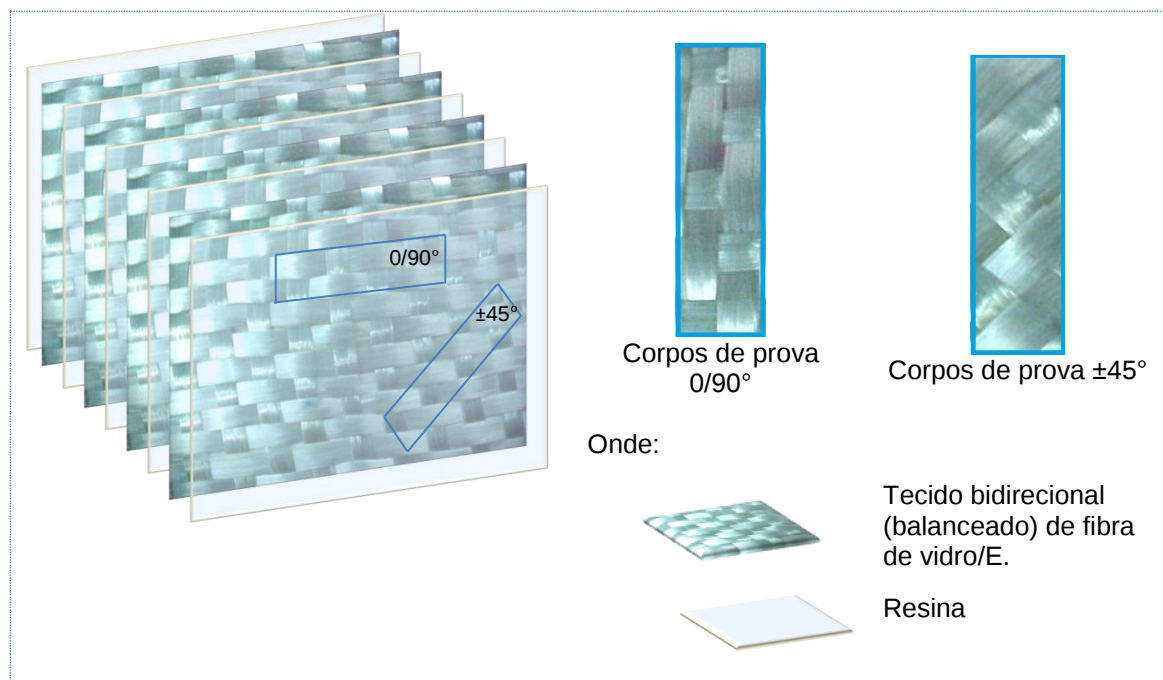


Fig. 1. Configuração do laminado compósito polimérico **LT** e dos CP's 0/90° e $\pm 45^\circ$.

Ensaio de envelhecimento Ambiental Acelerado

De acordo com a norma ASTM G-53 ⁽⁹⁾, foi construída uma câmara de envelhecimento ambiental acelerado, ver figura 2, na qual os CP's foram ensaiados nas condições de ciclos alternados, diários de radiação UV (18 horas) e vapor d'água aquecido (6 horas) até atingir o tempo definido através da norma ASTM G154 ⁽¹⁰⁾ de 2016h de exposição no total.



Fig. 2: Câmara de envelhecimento ambiental acelerado.

Técnica de Experimentais de Medição - TMVM e TMVE

A avaliação da estabilidade estrutural, em termos de degradação, foi realizada utilizando duas formas distintas de medição, que são: Técnica de Medição de Variação de Massa (**TMVM**) e a Técnica de Medição Variação de Espessura (**TMVE**), técnica está desenvolvida por ^(8,11).

A **TMVM** é baseada na lei de difusão de Fick, consiste em quantificar as perdas de massas. As variações de perda de massa são obtidas pela Eq. (A).

$$\Delta M = \frac{M_{\text{envelhecida}} - M_{\text{original}}}{M_{\text{original}}} \quad (\text{A})$$

Onde, ΔM é a perda percentual de massa (%), " $M_{\text{envelhecida}}$ " é a massa do CP envelhecido (g) e " M_{original} " é a massa do CP no estado original (g). As medidas foram efetuadas em intervalos de 7 (sete) dias e sempre após ciclo de radiação UV.

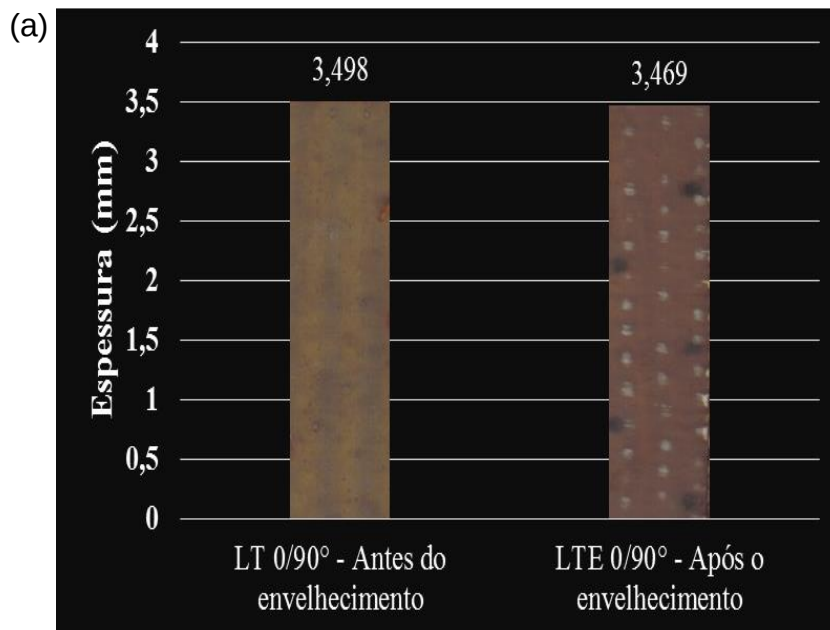
A **TMVE** objetiva detectar variação de espessura na secção transversal dos CP's, mediante a utilização do micrômetro. Para tanto, foram feitas marcações (pontos ao longo do comprimento útil dos corpos de prova), servindo essas marcações como referência. Desta forma, foram realizadas medições da espessura antes e após a finalização do período de exposição dos CP's na câmara de envelhecimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Integridade estrutural do LT direção 0/90°

Para a análise da **TMVE** realizou-se as medidas de espessura dos CP's **LT 0/90°** (antes do processo de envelhecimento) e dos CP's **LTE 0/90°** (após o envelhecimento ambiental acelerado), resultados mostrados na Fig. 3 a. Analisando os dados observa-se os CP's **LTE 0/90°** obteve uma redução de 0,028 mm o que corresponde a uma perda de 0,82% (em diferença absoluta).

Para a **TMVM**, a variação de massa ocorrida nos CP's **LTE 0/90°** pode ser observada na Fig. 3 b. Percebe-se que no comportamento da perda de massa em função do tempo se constata que os CP's iniciaram a perda de massa a partir do 14° dia (aproximadamente 336 h) de exposição e que as perdas de massas mais expressivas se deram entre os dia 14° e 42° onde verificou-se quase 0,5% de perda. Enquanto que no final do processo (84 dias) essa perda total chegou a 0,72% e dispersão absoluta de 5,2 %.



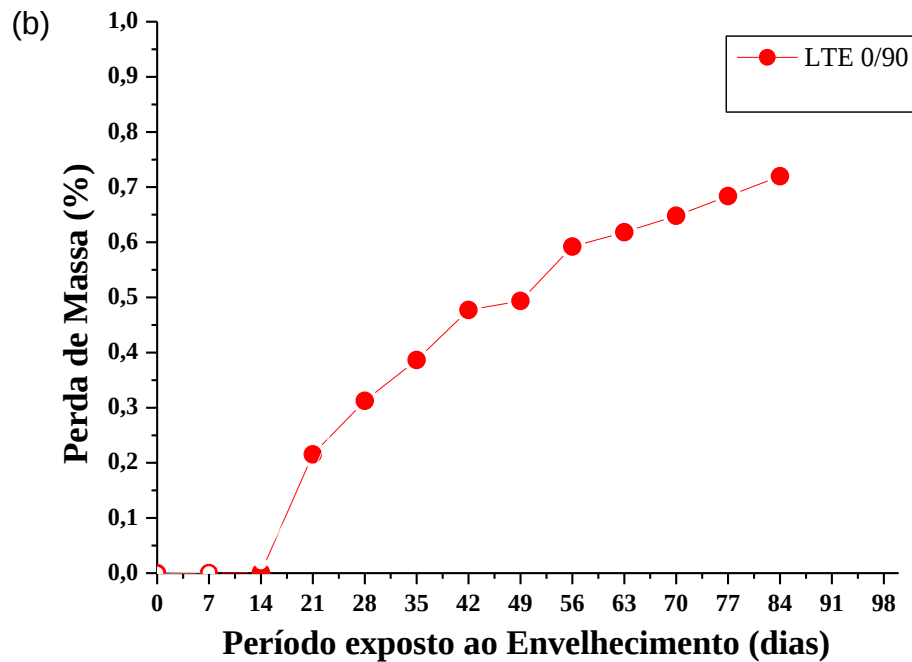


Fig. 3. (a) resultado obtidos pela **TMVE**; (b) Resultados obtidos pela **TMVM**.

Integridade estrutural do LT direção $\pm 45^\circ$

Mesmo procedimento descrito anteriormente foi usado para a **TMVE** nos CP's com direção das fibras à $\pm 45^\circ$. Para os CP's **LTE $\pm 45^\circ$** (após o envelhecimento) observou-se uma redução na espessura de 0,032 mm, se calculado a diferença da espessura obtida antes do processo de envelhecimento (CP's **LT $\pm 45^\circ$**). Esses resultados são mostrados na Fig. 4 a. Isto representa uma perda de espessura de 0,78%.

Pela **TMVM** (ver Fig. 4 b), o início da instabilidade ocorreu a partir do 14º dia e as perdas de massa mais expressivas ocorreram entre os dias 14º e 42º, tendo uma perda de aproximadamente 0,45%, comportamento este, similar ao obtido para os CP's **LTE 0/90º**. Ao final do 84º dia a perda de massa foi de 0,64% com uma dispersão absoluta de 4,9 %. Pode-se dizer que a anisotropia (direção distintas das fibras) influenciou no processo de instabilidade estrutural, sendo a direção **0/90º** a mais afetada pelo envelhecimento ambiental acelerado no tocante as perdas de massa e espessura.

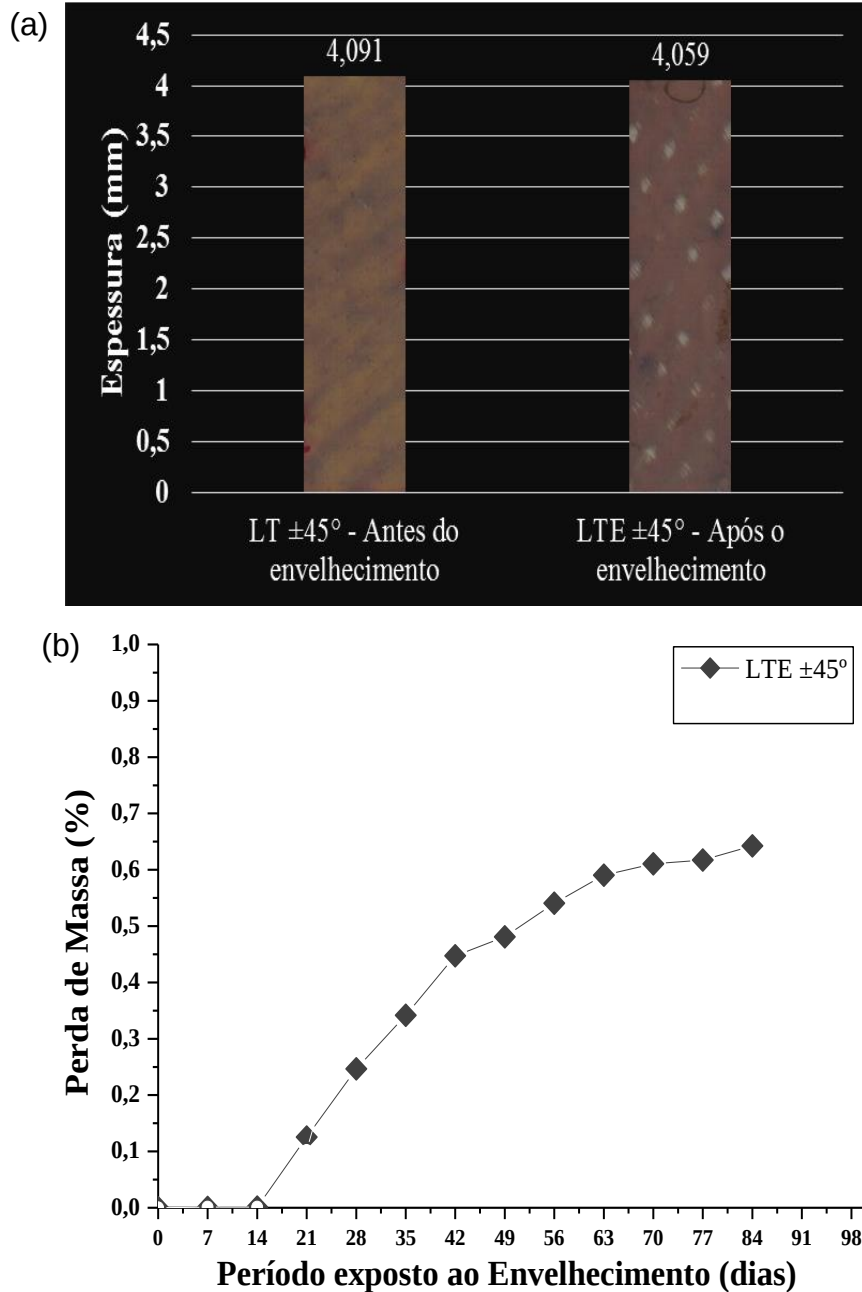


Fig. 4. (a) resultado obtidos pela **TMVE**; (b) Resultados obtidos pela **TMVM**.

Comparativo global

Pode-se dizer que em relação a **TMVE** houve superioridade de 5% dos CP's **LTE 0/90°** comparado aos CP's **LTE ±45°**, enquanto para a **TMVM** a diferença percentual foi de 11%, ver Fig. 5. Ressalta-se que a influência da configuração foi mais significativo quando comparado em termos de perda de massa, acrescido a isto, os CP's na direção 0/90° sempre tiveram maiores perdas, independente da técnica utilizada.

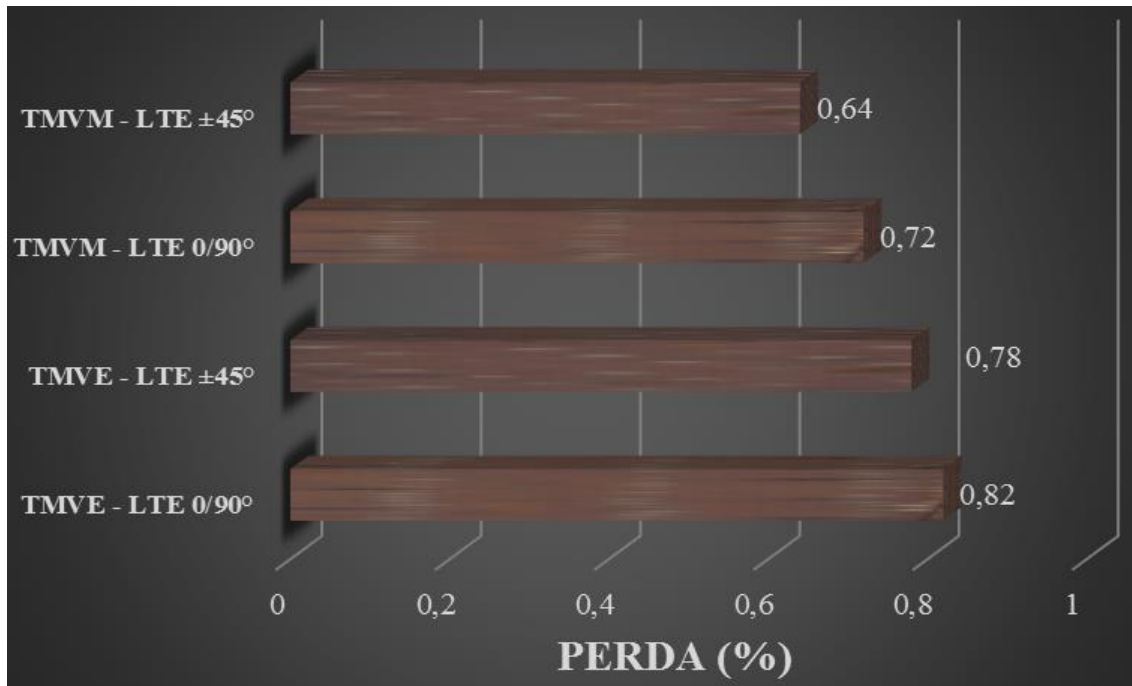


Fig. 5. Comparativo global de perda entre a **TMVE** e a **TMVM**.

Ainda em relação a Fig. 5, para os CP's **LTE 0/90°** a **TMVE** foi superior a **TMVM** em 12%, já para os CP's **LTE $\pm 45^\circ$** foi de 18%, ou seja, independente da configuração a **TMVE** aferiu valores sempre maiores quando comparados com a perda de massa.

CONCLUSÕES

Numa análise dos resultados obtidos pode-se concluir que: Tanto os CP's **LTE 0/90°** quanto os CP's **LTE $\pm 45^\circ$** variaram de espessura; as técnicas (**TMVE** e **TMVM**) utilizadas para analisar a instabilidade estrutural são coerentes; a anisotropia (a direção das fibras) influenciou no processo de instabilidade estrutural, sendo a direção 0/90° a mais afetada pelo envelhecimento ambiental acelerado no tocante as perdas de massa e espessura; e a **TMVE** facilita a análise da integridade estrutural ocorrida no laminado após envelhecimento, uma vez que a sua medição se verifica apenas no final do ensaio.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao suporte financeiro (bolsas) proveniente do CNPq.

REFERÊNCIAS

- (1) HERAKOVICH, C. T. *Mechanics of fibrous composite*. Ed. Wiley: New York, 460p, 1997.
- (2) AQUINO, E. M. F.; FREIRE JÚNIOR, R. C. S. Fatigue Damage Mechanism and Failure Prevention in Fiberglass Reinforced Plastic. *Materials Research* , v. 8, n. 1, p. 45-49, 2005.
- (3) FREIRE JÚNIOR, R. C. S.; DÓRIA NETO, A. D.; AQUINO, E. M. F. Comparative study between ANN models and conventional equations in the analysis of fatigue failure of GFRP. *International Journal of Fatigue*, v. 31, p. 831-839, 2009.
- (4) SILVA, R.V.; AQUINO, E.M.F.; RODRIGUES, L.P.S.; BARROS, A.R.F. Curaua/Glass Hybrid Composite: The Effect of Water Aging on the Mechanical Properties. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 28, p. 1857-1868, 2009.
- (5) TINÔ, S.R.L.; FONTES R.S.; AQUINO, E.M.F. Theories of failure average stress criterion and point stress criterion in notched fiber-reinforced plastic. *Journal of Composites Materials*, Vol. 31, n.1 , 2013.
- (6) HULL, D. *An Introduction to Composite Materials*. Cambridge University Press: Cambridge, 1988.
- (7) HUFNER, D.R.; ACCORSI, M.L. A progressive failure theory for woven polymer-based composites subjected to dynamic loading. *Composite Structures*, v. 89, p. 177-185, 2009.
- (8) FELIPE, R.C.T.S. *Envelhecimento Ambiental Acelerado em PRF a Base de Tecidos Híbridos Kevlar/Vidro: Propriedades e Instabilidade Estrutural*. 2012(a),189p. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica), UFRN, Natal-RN.
- (9) ASTM G53. Standard Practice for Operating Light- and Water- Exposure Apparatus (Fluorescent UV-Condensation Type) for Exposure of Nonmetallic Materials, ASTM International, Philadelphia,1996.
- (10) ASTM G154. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials, ASTM International, Philadelphia, 2006.
- (11) FELIPE, R.N.B. *Efeitos da Radiação UV, Temperatura e Umidade nos PRF: Modelagem, Instabilidade Estrutural e Fratura*, 2012(b), 247p. Tese (doutorado em Engenharia Mecânica), UFRN, Natal-RN.

INFLUENCE OF ANISOTROPY AND AGING IN ENVIRONMENTAL IN GRP

ABSTRACT

It is known that the responses of composites are directly related to their constituents and especially with the distribution and fiber orientation with respect to the load application direction (anisotropy). The anisotropy property becomes even a limiting in terms of application for composite materials in the form of laminar structure. Combined to this factor, several applications of GRP require resistance of bad weather exposure. Trying to analyze the influence of anisotropy and structural integrity facing the bad weather, in this work, we analyze a laminated composite involving the presence of four layers of bidirectional woven fiberglass and impregnated with ortho-tereftálica polyester resin. Two configurations, directions $0/90^\circ$ and $\pm 45^\circ$ are evaluated by the measuring technique for mass variation and measurement technique for thickness variation. We can see a good relationship between TMVM and TMVE.

Key-words: *GFRP, environmental aging, anisotropy.*