

INFLUÊNCIA DA ABSORÇÃO DE UMIDADE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E DA FRATURA EM LAMINADO COMPÓSITO HÍBRIDO KEVLAR-VIDRO

Miranda, T.P. ;Leão, M. A.; Oliveira, J. F. de S.; Junior, E. O. M.; Evangelista, R. P.
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia
Endereço: Rua Vale do Abaré, n 1084, Condominio Salvador Life I, Bloco 14,
Apartamento 2013, Sussuarana, CEP 41213-122; e-mail: tamarapm@hotmail.com

RESUMO

A análise da influência da umidade nas propriedades mecânicas em um compósito híbrido reforçado por tecidos de alto desempenho de Kevlar e vidro. O compósito teve como reforço tecidos de fibras kevlar 49 e vidro-E e como matriz a resina epóxi éster vinílica (DERAKANE 411-350). Para executar testes mecânicos de absorção 21 corpos foram feitos (sete para absorção, sete para tração e sete para três pontos ensaios de flexão). Todos foram submetidos ao ensaio preliminar de absorção em água destilada, até que atingissem o estado de saturação. Após o processo de absorção foram realizados os ensaios de tração uniaxial e flexão em três pontos. Os resultados das propriedades mecânicas no estado úmido (saturado) foram comparados com os do estado seco existente na literatura para análise da degradação das propriedades mecânicas. Os dados obtidos demonstram perda na integridade estrutural do laminado.

Palavras Chave: Compósito Híbrido, Propriedades Mecânicas, Influência da Absorção, Fratura.

INTRODUÇÃO

O interesse nos materiais compósitos vem apresentando um aumento expressivo em diversos setores, esse crescimento se deve ao fato de apresentar como resultado uma elevada resistência e rigidez específica, bom desempenho à fadiga e boa resistência à corrosão. Porém para aplicação dos mesmos faz com que seja necessário dominar o comportamento mecânico desses materiais sob as mais diferentes condições.

Dependendo da aplicação do material compósito o estudo da degradação natural é de suma importância, principalmente quando a degradação é combinada

com calor, radiação solar, poluição e cargas estáticas ou de fadiga: condições que induzem ao envelhecimento do material com decréscimo das propriedades de resistência e rigidez (LEÃO, 2010).

A degradação causa uma modificação irreversível nas propriedades dos materiais poliméricos, sendo evidenciada pela deterioração progressiva destas propriedades, incluindo o aspecto visual. Em alguns casos as reações de degradação podem ser necessárias, como por exemplo, para rejeitos poliméricos não recicláveis, como sacos de lixos, fraldas e embalagens de curta duração. Porém, em geral, as reações de degradação são indesejáveis (RODRIGUES, 2007).

A fibra de vidro é o material mais empregado na fabricação de compósitos, devido a apresentar propriedades de resistência mecânica, baixo custo, ser incombustível e quimicamente estável, apresentar resistência à corrosão e à umidade (BARROS, 2010; OTA, 2004).

A utilização do Kevlar vem crescendo, pois o mesmo possui propriedades como: leveza, resistência à corrosão, manutenção de suas propriedades mesmo quando utilizado a baixas temperaturas, elevado módulo de elasticidade, grande resistência ao impacto, elevada resistência mecânica. Esses atributos permite que o mesmo seja utilizado em diversas áreas e aplicações.

Esta descoberta veio a partir de um composto muito similar chamado Nomex. A criação desta fibra deu luz à tecnologia térmica, à de resistência ao calor e propriedades à prova de fogo, ressaltando ainda suas características têxteis avançadas (CHEM, 2013).

O presente trabalho teve como objetivo inicial o estudo da influência da absorção de umidade nas propriedades mecânicas e características da fratura de um compósito polimérico híbrido reforçado com tecido híbrido de fibras de vidro/E e de fibras kevlar/49. O tecido utilizado foi do tipo Sarja. O laminado produzido foi impregnado com resina epóxi éster vinílica, denominada comercialmente como DERA KANE 411-350 e constituídos com quatro camadas no total. O laminado foi fabricado industrialmente através do processo de laminação manual (*Hand-lay-up*). Foram realizados estudos comparativos entre as propriedades mecânicas sob a ação dos carregamentos de tração uniaxial e flexão em três pontos, nas condições dos corpos de prova no estado úmido saturado e os no estado seco encontrados na literatura.

Ensaaios de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura foram utilizados para análise da fratura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram confeccionados 21 (vinte e um) corpos de provas para realização dos ensaios, sendo 07 (sete) para absorção, 07 (sete) para tração uniaxial e 07 (sete) para flexão em três pontos, seguindo a norma que recomenda no mínimo 05 (cinco) ensaios válidos. Na sequência todos juntos foram submetidos ao ensaio preliminar de absorção em água destilada, até que os mesmos atingissem o estado de saturação e em seguida foram realizados os ensaios.

As dimensões dos corpos de prova para ensaio de absorção foi segundo norma ASTM D 570 – 98 (tolerâncias de 0,8mm), as dimensões para os corpos de prova para o ensaio de tração que seguiram a norma ASTM D 3039 – 08 e as dimensões dos corpos de prova para o ensaio de flexão em três pontos que seguiram as recomendações da norma ASTM D 790 – 10 (tolerâncias de $\pm 1\%$).

Foi realizado o procedimento de lixamento, após as confecções dos corpos de prova utilizando lixas d'água de números 150, 180, 240, 320, 400, 600 e 1200. Em seguida dois corpos de prova do ensaio de tração uniaxial e dois de flexão em três pontos foram submetidos a polimento metalográfico nas faces cortadas pelo disco de corte, esse polimento foi feito em uma politriz motorizada, utilizando como abrasivo a alumina de 0,01 μ m.

Os corpos de prova (**LKVS**) foram submetidos ao ensaio de absorção de umidade, sendo submersos em água destilada até saturarem. Foi realizada a pesagem das massas de cada um dos corpos de prova, antes do início do ensaio de absorção (0h), em seguida com 12h e 24h e, na primeira semana a cada 24h, ou seja, 48h, 72h, 96h, 120h, 148h e 168h. Logo após, foi efetuada uma pesagem com uma semana totalizando 336h. Por último, as pesagens passaram a ter intervalos de duas semanas, ou seja, de 14 dias, até atingir o estado de saturação dos mesmos.

No ensaio de tração uniaxial foram definidas as propriedades de resistência última à tração, módulo de elasticidade (medido na direção de aplicação da carga) e deformação de ruptura do laminado compósito **LKVS**. O valor da velocidade de

deslocamento foi de 1,0 mm/min, e os ensaios foram feitos a temperatura ambiente, 26°C.

No ensaio de flexão em três pontos foi determinada a resistência à flexão, rigidez (módulo de elasticidade) e deflexão máxima dos corpos de prova de **LKVS** em estudo segundo a norma ASTM D 790 – 10. A velocidade de carregamento foi de 2,0mm/min e à temperatura ambiente de 26°C.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A figura 1 representa as medidas de absorção de 03 corpos de prova e seus respectivos valores médios de acordo com a norma técnica. Pode-se observar que a porcentagem maior de absorção foi nos três primeiros dias de submersão representando uma porcentagem de 0,83% que corresponde a 64,84% da absorção total. O acréscimo do peso após ocorrer à saturação é de 1,28%.

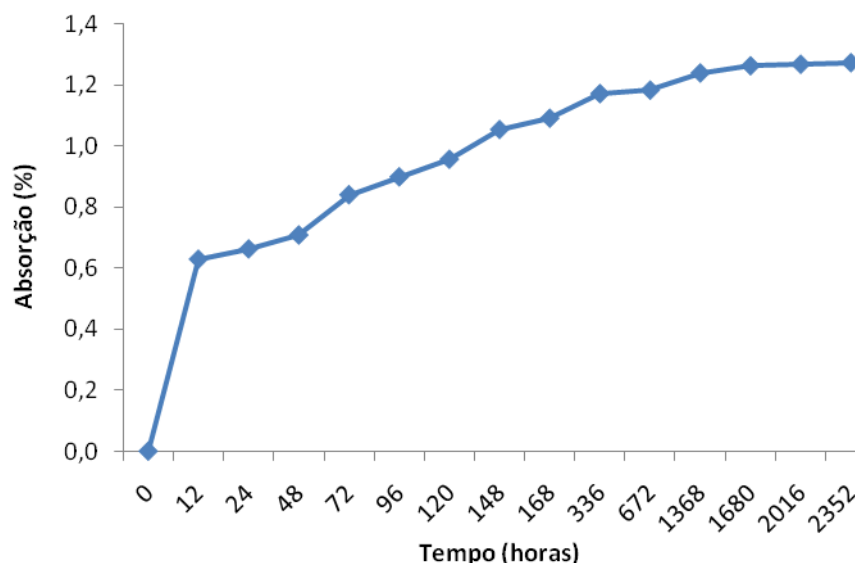


Figura 1: Gráfico do Comportamento da absorção de umidade do **LKVS**.

Ensaio de tração uniaxial

A Figura 2 representa o desempenho mecânico do **LKVS**, através do diagrama Tensão x Deformação, obtido no ensaio de tração uniaxial, onde pode ser observado, nas curvas do desempenho, um comportamento linear do laminado.

Os valores médios para tensão última, módulo de elasticidade (medido na

direção de aplicação da carga) e deformação de ruptura, bem como as dispersões calculadas através dos desvios padrões, podem ser analisados na Tabela 1.

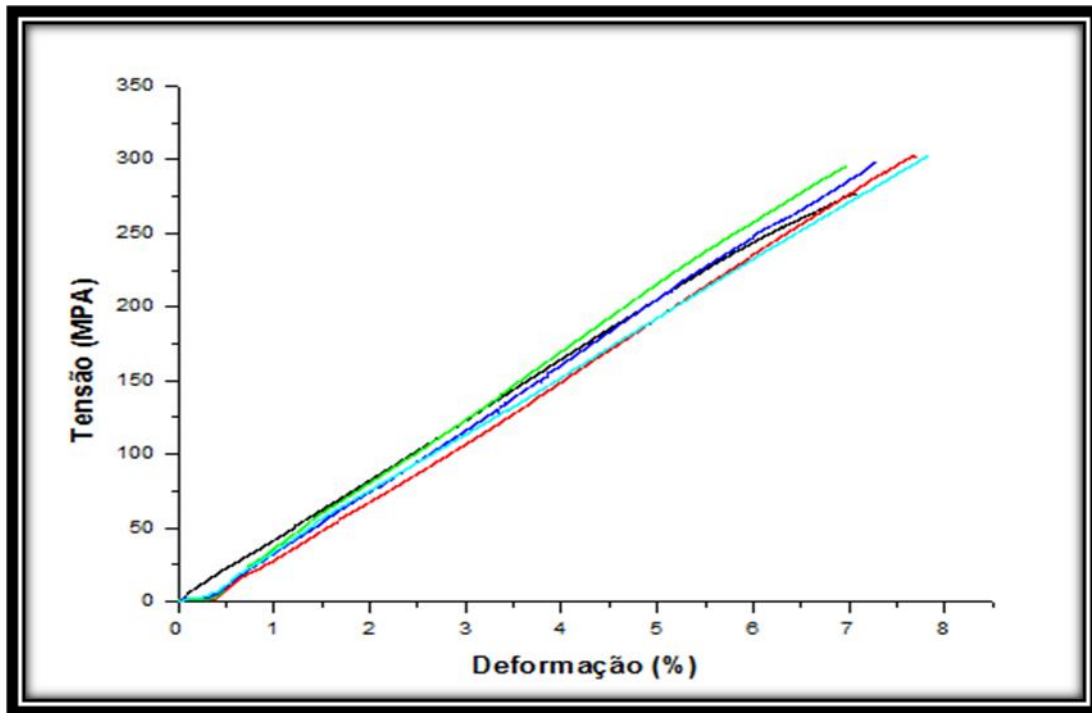


Figura 2 – Gráfico Tensão x Deformação do Laminado LKVS – Tração Uniaxial.

Tabela 1: Propriedades mecânicas - LKVS – Tração uniaxial.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	VALORES MÉDIOS	DISPERSÃO (σ)
Tensão Última (MPa)	294,54	10,68
Módulo de Elasticidade (GPa)	8,06	0,03
Deformação de Ruptura (%)	7,38	0,38

Ensaio de flexão em três pontos

A Figura 3 mostra o diagrama Tensão x Deflexão, obtido no ensaio de flexão em três pontos.

Os valores médios obtidos no ensaio para resistência à flexão, módulo de elasticidade à flexão e deflexão máxima com as respectivas dispersões são

mostrados na tabela 2. As dispersões foram estabelecidas através da diferença percentual absoluta entre o valor máximo e mínimo obtido do desvio padrão.

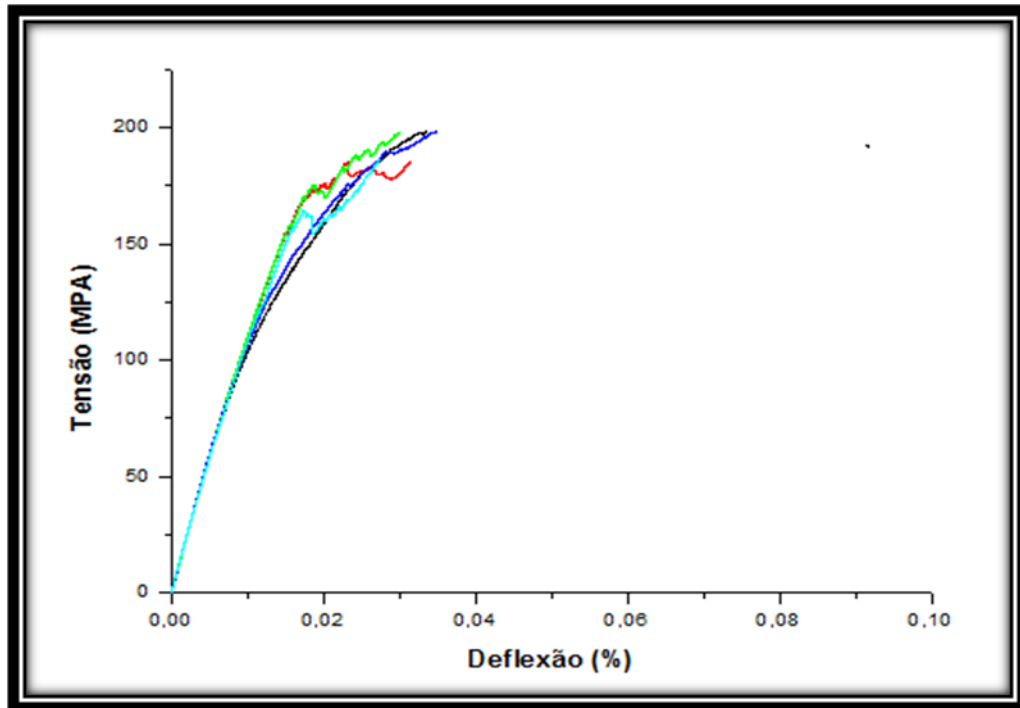


Figura 3 –Gráfico Tensão x Deflexão – CP's LKVS – Flexão em Três Pontos.

Tabela 2 :Propriedades mecânicas - LKVS – Flexão em Três Pontos.

<i>PROPRIEDADES MECÂNICAS</i>	<i>VALORES MÉDIOS</i>	<i>DESVIO PADRÃO (%)</i>
Resistência à Flexão(MPa)	189,53	5,22
Módulo na Flexão(GPa)	6,69	0,14
Deflexão máxima(%)	0,03	0,003

Estudo Comparativo da Influência da absorção no Laminado Compósito LKVS - Ensaio de Tração Uniaxial

Neste item um estudo comparativo entre as propriedades mecânicas dos laminados compósitos no estado seco e no estado úmido saturado foi realizado. Os dados do laminado compósito no estado seco foram retirados da literatura (OLIVEIRA, 2013). Pode ser observado decréscimo nas propriedades mecânicas do LKVS após a absorção de umidade.

As figuras 4, 5 e 6 mostram o decréscimo nas propriedades mecânicas do laminado **LKVS** após o ensaio de absorção de umidade.

Na figura 4 é possível comparar os resultados obtidos, no ensaio de tração uniaxial do laminado compósito, observando-se que houve um decréscimo na tensão última obtida para o laminado de 21,71% no **LKVS** após umidade quando comparado com o no estado seco (literatura).

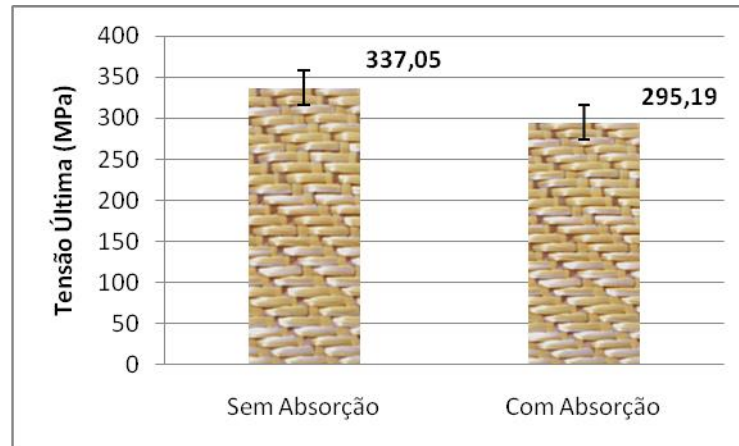


Figura 4 – Gráfico Comparativo da Tensão Última do Laminado Compósito **LKVS** entre os estados seco e úmido saturado – Tração Uniaxial.

Na figura 5 pode-se observar, também, um decréscimo de 99,5% no módulo de elasticidade do laminado **LKVS** após o processo de absorção. Já a figura 6 mostra que a deformação de ruptura do laminado **LKVS** após a absorção teve um acréscimo de 30,08% em relação aos CP's que não sofrerão ensaio de absorção.

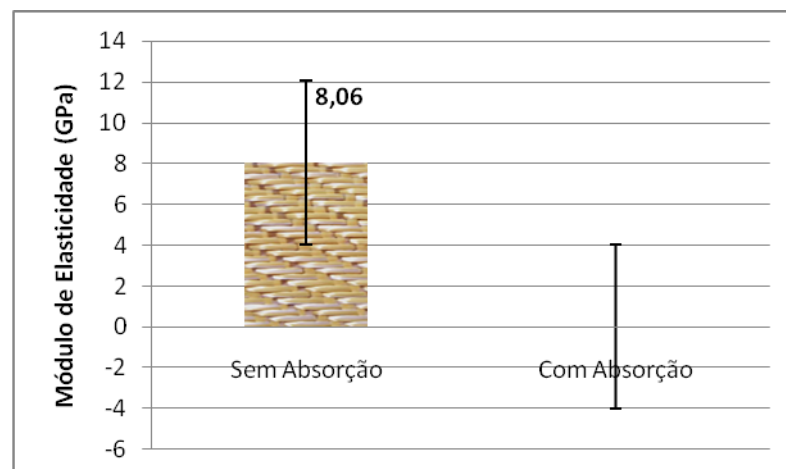


Figura 5 – Gráfico Comparativo da Modulo de Elasticidade do Laminado Compósito LKVS entre os estados seco e úmido saturado – Tração Uniaxial

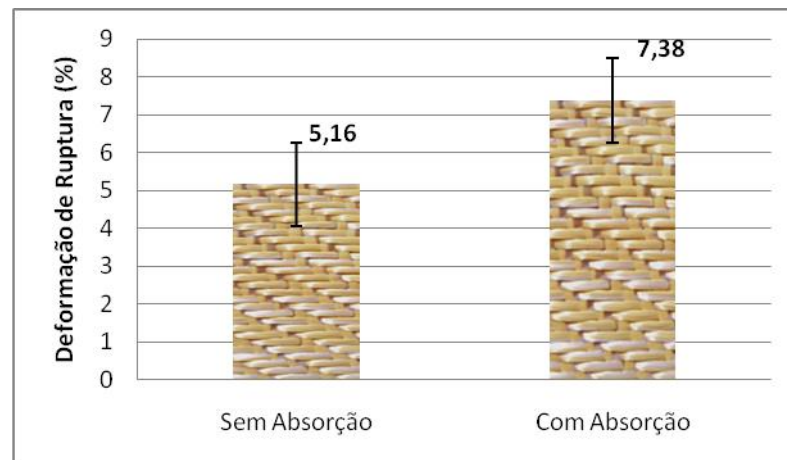


Figura 6 – Gráfico Comparativo da Deformação de Ruptura do Laminado Compósito LKVS entre os estados seco e úmido saturado – Tração Uniaxial.

Estudo Comparativo da Influência da absorção no Laminado Compósito LKVS **-Ensaio de Flexão Três Pontos**

Este capítulo apresenta a comparação das propriedades mecânicas dos laminados compósitos no estado úmido (saturado) e no estado seco (literatura) através dos dados obtidos no ensaio de flexão em três pontos. Observa-se um decréscimo nas propriedades mecânicas do **LKVS** após o ensaio de absorção de umidade.

As figuras 7, 8 e 9 mostram o decréscimo nas propriedades mecânicas do laminado **LKVS** após o ensaio de absorção de umidade.

Analisando a figura 7 observa-se a partir dos resultados obtidos no ensaio de flexão em três pontos dos compósitos antes e após a absorção percebe-se que houve um decréscimo de 24,03% na resistência à flexão no laminado.

Na figura 8 pode-se observar um decréscimo de 40,64% em relação ao módulo de flexão do laminado **LKVS** depois da absorção quando comparado ao laminado **LKVS** antes da absorção.

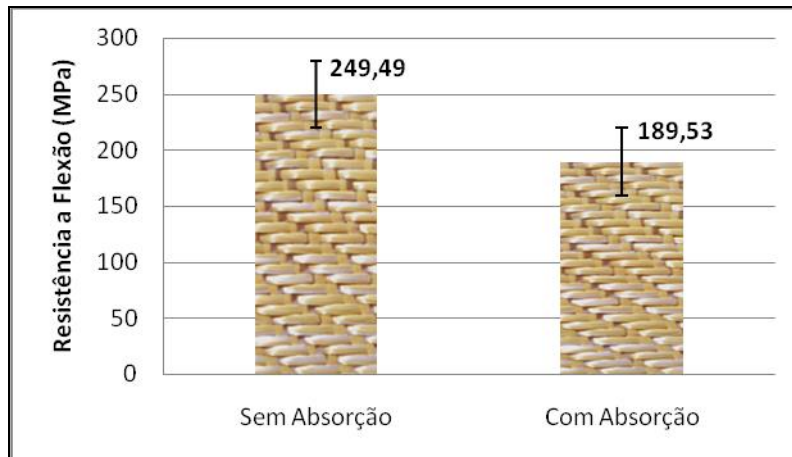


Figura 7 – Gráfico Comparativo da Resistência a Flexão do Laminado Compósito **LKVS** entre os estados seco e úmido saturado – Flexão em Três Pontos.

Para a deflexão máxima, ver figura 9 o laminado **LKVS** apresenta um decréscimo 99,2% em relação ao **LKVS** sem a absorção. O processo de umidade até a saturação ocasionou um desempenho inferior em todas as propriedades mecânicas analisadas.

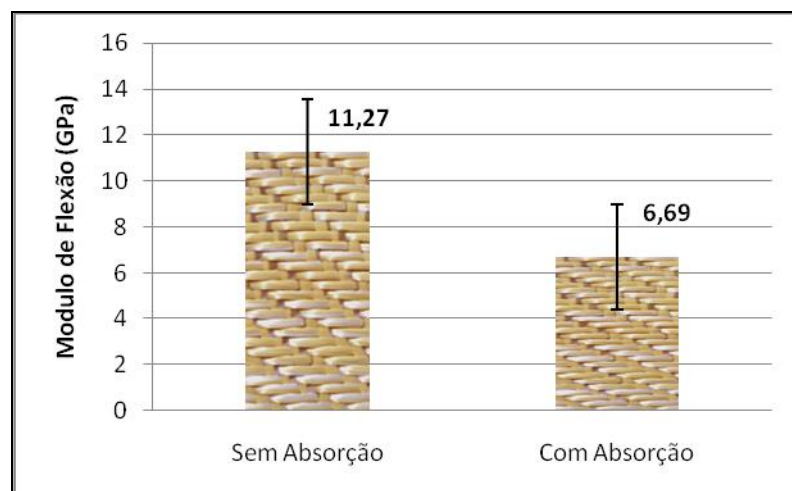


Figura 8 – Gráfico Comparativo do Módulo de Flexão do Laminado Compósito **LKVS** entre os estados seco e úmido saturado – Flexão em Três Pontos.

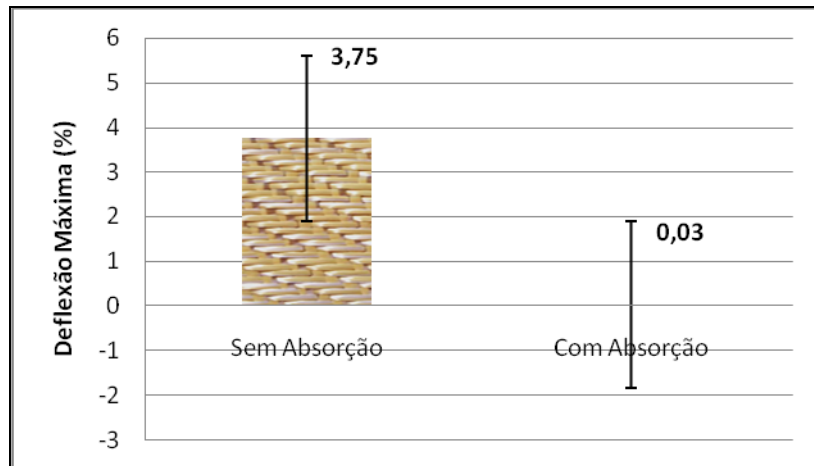


Figura 9 – Gráfico Comparativo da Deflexão Máxima do Laminado Compósito **LKVS** entre os estados seco e úmido saturado – Flexão em Três Pontos.

CONCLUSÕES

- Com relação à absorção de umidade, pode-se afirmar que o laminado compósito (**LKVS**) submerso em água destilada, absorveu maior quantidade nas primeiras 72 horas (3 dias), completando seu estado de saturação 2352 horas (2 meses e 22 dias). Como era esperado o percentual de absorção de umidade do laminado **LKVS** foi bastante baixo (1,28%), uma característica inerente das fibras sintéticas, principalmente no que diz respeito à fibra de vidro que é considerada que impermeável.
- Na tração uniaxial o laminado compósito **LKVS** apresenta redução nas propriedades mecânicas de Resistência Última à Tração e Módulo de Elasticidade, representando um decréscimo de 21,71% na resistência e de 99,5% na rigidez. Já a Deformação de ruptura apresentou um acréscimo de 30,08%.
- Na flexão em três pontos, o laminado compósito **LKVS** apresentou uma perda nas propriedades mecânicas de Resistência Última à Flexão de 24,03%, no Módulo de Elasticidade à Flexão de 40,64% e de 99,2 na Deflexão Máxima.
- Nas análises microscópicas e macroscópicas do laminado **LKVS**, foram encontrados danos do tipo fratura adesiva, fratura coesiva na matriz e na fibra e fendas com várias intensidades.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia pelo apoio técnico dado à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LEÃO, M. A. - COMPÓSITOS POLIMÉRICOS A BASE DE FIBRAS DE LICURI: EFEITOS DA HIBRIDIZAÇÃO E DO ENVELHECIMENTO AMBIENTAL ACELERADO. **Tese de doutorado** – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

OLIVEIRA, J.F. S. – **Plásticos Reforçados a Base De Tecidos Híbridos: Efeitos da Anisotropia e Geometria Normativa na Caracterização Mecânica e da Fratura**. Dissertação de Doutorado, PPGCEM - UFRN, 2013.

OTA, W.N. **Análise de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Vidro Utilizados pela Indústria Automotiva Nacional**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba

RODRIGUES, L. P. S. – **Efeitos do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos** - Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 114p, 2007.

Site CHEM. Disponível em:
<http://www.chem.uwec.edu/Chem405_s01/s01/malenirf/project.html>. Acesso em março de 2016.

INFLUENCE OF MOISTURE ABSORPTION ON MECHANICAL PROPERTIES AND FRACTURE OF KEVLAR-GLASS FIBER HYBRID COMPOSITE LAMINATE

ABSTRACT

This research aims to analyze the influence of moisture on mechanical properties and damage mechanisms behavior in a hybrid composite reinforced with high-performance fabrics made of Kevlar and glass fiber. The composite developed was built using epoxy ester vinyl resin (DERAKANE 411-350). To perform mechanical and absorption tests 21 specimens were made (seven for absorption, seven for

tensile and seven for three point bending tests). The specimens were then submerged in distilled water until their full saturation and later submitted to tensile and three point bending tests. The results obtained with the saturated specimens were compared with results found in the literature to analyze mechanical properties degradation. The data obtained show loss in the laminates structural integrity.

Keywords: hybrid composite, mechanical properties, absorption influence, fracture