

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE COMPÓSITO DE FIBRA DE BASALTO UNIDIRECIONAL COM MATRIZ EPÓXI

M. H. Lapena^{a*}, G. Marinucci^{b,c}, O. de Carvalho^c

^aDepartamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial – DCTA, Praça Mal. Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, 12228-904 - São José dos Campos - SP

^bInstituto de Pesquisas Energéticas Nucleares, IPEN – CNEN/SP, Av. Prof. Lineu Prestes, 2242, 05508-900, São Paulo-SP

^cCentro Tecnológico da Marinha em São Paulo – CTMSP, Departamento de Materiais, Av. Prof. Lineu Prestes, 2268, 05508-900, São Paulo-SP

*maurolapena@gmail.com

RESUMO

Compósitos reforçados com fibras de basalto apresentam um desenvolvimento recente. Esta fibra amorfa pode superar a fibra de vidro em certas propriedades, por exemplo, exibindo maior temperatura de trabalho. Seus valores de resistência e módulo encontram-se entre aqueles apresentados por fibras de vidro-E e S. Ademais, possuem boa resistência química e ao impacto. Todavia ainda existem poucos estudos na literatura com este reforço. Para projetar novos componentes com fibra de basalto e também para análise numérica, os dados de entrada necessários precisam ser bem determinados e entre eles há as propriedades elásticas. O objetivo deste trabalho é determinar as propriedades mecânicas e elásticas de compósitos de basalto/epóxi segundo a norma ASTM. Foram realizados ensaios de tração em laminados unidirecionais nas direções longitudinais e transversais. Os laminados foram fabricados pelo processo de enrolamento filamentar. Determinou-se ainda o teor de fibras no compósito e a temperatura de transição vítrea da matriz epóxi.

Palavras-chave: fibra de basalto, matriz polimérica, caracterização mecânica, ensaio de tração.

INTRODUÇÃO

O basalto é um mineral de origem vulcânica, escuro ou negro. Suas rochas são pesadas, tenazes e resistentes. Sua densidade é aproximadamente 5% maior que a do vidro. É a rocha mais abundante da crosta terrestre e o fundo dos oceanos é predominantemente composto de basalto. A composição química do basalto é variável de acordo com a jazida mineral utilizada. A seguir, temos a porcentagem em peso dos óxidos constituintes: SiO₂, 48,8–51; Al₂O₃, 14–15,6; CaO, ≈10; MgO, 6,2–16; FeO + Fe₂O₃, 7,3–13,3; TiO₂, 0,9–1,6; MnO, 0,1–0,16; Na₂O + K₂O, 1,9-2,2⁽¹⁾.

A produção de fibras foi, no entanto, apenas desenvolvida nas últimas décadas. A tecnologia atual para se produzir FB é muito semelhante à usada na produção das FV, mas requer menos energia para ser produzida⁽³⁾. Este fato, somado à grande disponibilidade de matéria-prima, justifica o baixo preço das FB comparado às FV. O preço das FB pode variar, dependendo do tipo de fibra, de 3 e 6 dólares americanos. A principal diferença entre as FB e as FV encontra-se nas matérias-primas utilizadas. A FV é produzida a partir de vários componentes, enquanto que a FB é feita com a fusão da rocha de basalto, sem outros aditivos.

O objetivo deste trabalho é obter as propriedades mecânicas dos laminados unidirecionais na direção das fibras (0°) e na transversal (90°), bem as frações volumétricas do compósito e a temperatura de transição vítrea da matriz polimérica.

MATERIAIS E MÉTODOS

A aplicação das FB é possível em diversas áreas graças às suas múltiplas e boas propriedades. Apresentam excelente resistência à álcalis, propriedade semelhante às FV, a um custo muito menor que as fibras de carbono e aramídicas. Suas propriedades térmicas as tornam excelentes substitutas de fibras resistentes a altas temperaturas (fibras de carbono), sendo comumente usadas na fabricação de escudos de calor, barreiras isolantes térmicas e artigos para proteção ao fogo – sua faixa temperatura de trabalho é de -260°C a 700°C, contra -60°C a 250°C das FV⁽²⁾.

Em relação às propriedades mecânicas da FB em comparação com a FV e a fibra de carbono, como mostra a Tab. 1, o módulo de elasticidade e resistência à tração da FB excedem a FV em torno de 11% (em resistência) e 15% (em módulo).

Tabela 1: Comparação entre as propriedades das fibras.

	Fibra de basalto (5)	Fibra de vidro-E⁽⁶⁾	Fibra de carbono⁽⁶⁾
Tensão de ruptura [MPa]	2800-4800	3450	3500
Módulo de elasticidade [GPa]	89	72,4	240
Deformação [%]	3,1	4,7	1,25
Densidade [g/cm³]	2,8	2,6	1,75

Métodos

O compósito unidirecional de basalto/epóxi foi fabricado enrolando-se a fibra em um mandril em forma de fuso, metálico, plano e de seção retangular com duas faces de trabalho, que foi aquecido internamente até 70°C. A FB foi fornecida pela Kammeny Vek em filamentos contínuos, com uma densidade linear de 1200 tex, constituído de fibras a partir de 13 µm de diâmetro, com *sizing* agente silano compatível com resinas epóxi e fenólicas. O mandril foi revestido com uma película adesiva impermeável para assegurar uma desmoldagem eficaz do compósito, como pode ser visto na fig. 1.

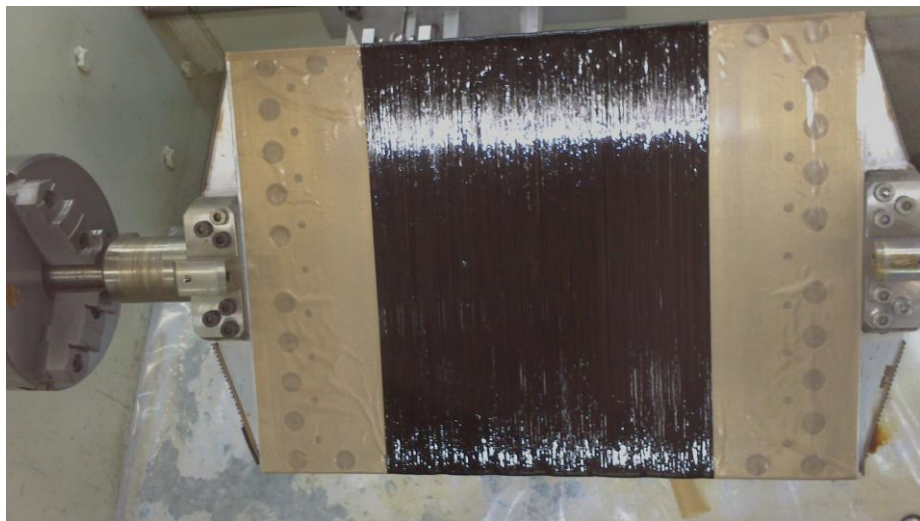


Figura 1: placa de fibra de basalto fabricado por uma técnica de enrolamento filamentar.

Após o processo, o molde é pressionado em ambas as faces por placas de aço de superfície plana e polida, denominadas placas de prensagem ou *caul plates*, como mostrado na Fig. 2, dotado de batentes fixados por parafusos, nas suas extremidades. De forma a produzir as placas com a espessura desejada, os batentes determinam a espessura das placas, os quais foram fabricados com 1 e 2 mm, em conformidade ASTM 3039. O conjunto mandril-placas de prensagem foi levado para a estufa para um ciclo de polimerização de 11h, atingindo uma temperatura máxima de 130 ° C, com resfriamento lento após o ciclo de cura.

As placas de 1 mm de espessura foram dispostas com $[0_4]_T$, e as de 2 mm com $[90_8]_T$. As amostras foram cortadas com uma serra de diamante com a dimensão final de 250 x 15 x 1 mm para 0° e de 175 x 25 x 2 mm para 90°. Tanto o mandril quanto o banho de resina foram mantidos à mesma temperatura durante o processo de enrolamento.



Figura 2: conjunto molde e placas de prensagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os ensaios de tração foram realizados conforme a norma ASTM D3039/D3039M⁽⁷⁾. As Tab. 2 e 3 mostram, respectivamente, as propriedades nas direções longitudinais e transversais, com as curvas tração *versus* deformação nas figuras 3 e 4. A terminologia na última coluna das tabelas 2 e 3, de acordo a norma ASTM 3039, define o modo e a localização da fratura da amostra. Por exemplo, XGM (amostra 1 no teste na direção longitudinal na Tab. 2), significa *eXplosive*,

Gage, Middle, o que representa que a falha foi do tipo vassoura de bruxa, que ocorreu no comprimento útil do corpo de prova, e na metade deste comprimento.

Tabela 2: Propriedades experimentais das amostras de compósito basalto/epoxy na direção longitudinal (0°).

Amostra	Carga (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson (chord 0.10%- 0.60%)	Deformação (%)	Modo de Falha
01	24213	1663	50	0.222	3.48	XGM
02	23640	1640	48	0.209	3.36	MGM
03	21803	1518	48	0.173	3.07	SGM
04	22572	1568	50	0.293	-	MGM
05	22000	1546	52	0.290	-	XGM
	22846	1587	50	0.237		-
	1046	62	1.5	0.05		-

Tabela 3: Propriedades experimentais amostras de compósito basalto/epoxy na direção transversal 90°.

Amostra	Carga (N)	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coeficiente de Poisson (chord 0.10%-0.25%)	Deformação (%)	Modo de Falha
01	2137	45	23	0.447	0.31	LAT
02	2026	42	23	0.409	0.30	LAT
03	2106	44	27	0.736	0.26	LAT
04	2796	58	16	-	0.36	LAT
05	2636	55	15	-	0.35	LAT
	2340	49	21	-	0.32	-
	350	7	5	-	0.04	-

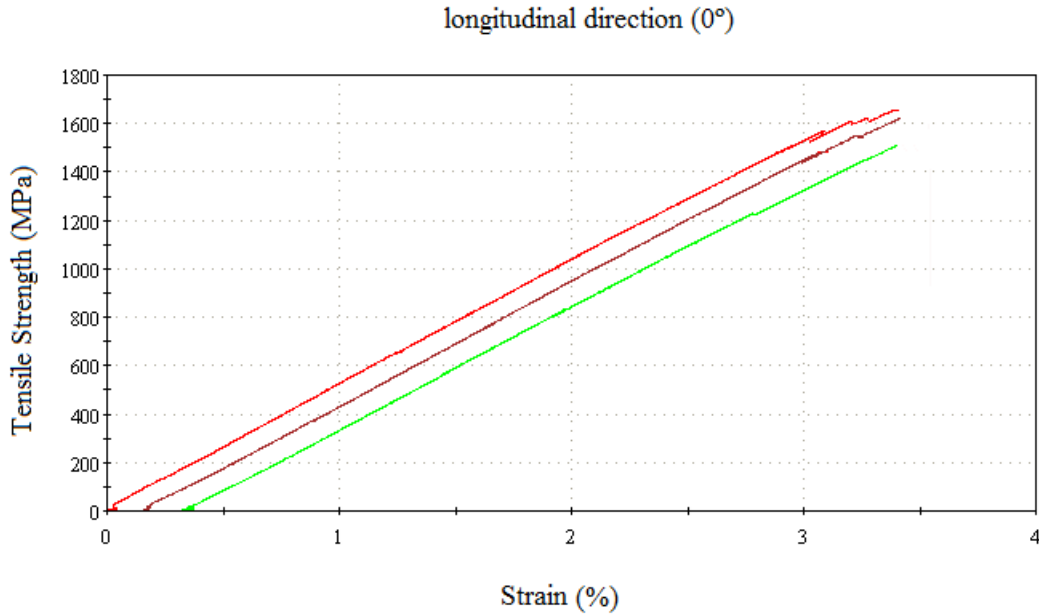


Figura 3: resistência à tração versus deformação para amostras 1, 2 e 3 de compósitos basalto/epóxi na direção longitudinal (0°).

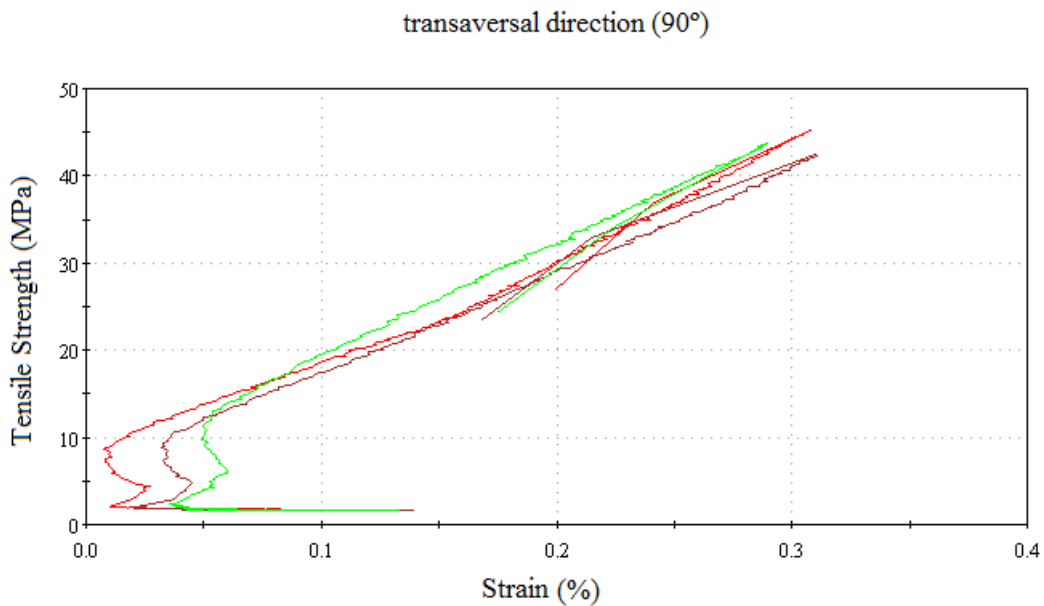


Figura 4: resistência à tração versus deformação para amostras 1, 2 e 3 de compósitos basalto/epóxi na direção transversal (90°).

Para obter o coeficiente de Poisson das amostras, as deformações nas direções longitudinal e transversal foram determinadas por meio de um extensômetro óptico (amostras 1, 2 e 3) e um extensômetro bidirecional (amostras 4 e 5) para ambas as direções longitudinal (0°) e transversal (90°).

A temperatura de transição vítrea da matriz epóxi foi de 121°C.

CONCLUSÕES

Comparando-se os valores médios das Tab. 2 e 3 com os apresentados por Leitão, 2007⁽⁸⁾, considerando-se fibra de vidro-E, tal como mostrado na Tab. 4, o compósito basalto/epóxi apresenta uma tensão de ruptura 15% superior ao compósito de fibra de vidro-E/epóxi na direção longitudinal (0°) e o mesmo módulo de elasticidade. Na direção transversal, a tensão de ruptura do compósito de fibra de basalto/epóxi é 22% maior e o módulo de elasticidade 23% maior que do compósito fibra de vidro-E/epóxi.

Tabela 4: Propriedades experimentais do compósito basalto/epóxi em comparação com o compósito de fibra de vidro-E/epóxi.

Compósito fibra de basalto/epóxi com fração de fibra 60-65%	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Compósito fibra de vidro- E/epóxi com fração de fibra 60-65%	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0°	1587±62	50±1.5	0°	1369±35	50±1
90°	49±7	21±5	90°	40±3	17±1

REFERÊNCIAS

1. Artemenko, S. E.. Polymer composite materials made from carbon, basalt and glass fibres. Structure and properties. *Fibre Chemistry*, v(35):226-229, nº.3, 2003.
2. Fazio, P. Basalt fibra: from earth an ancient material for innovative and modern application. *Energia, Ambiente e Innovazione*, 3/2011.
3. Parnas, R.; Shaw, M.; and Liu, Q. Basalt Fiber Reinforced Polymer Composites. *The New England Transportation Consortium*, 2007.
4. Chikhradze, N. M.; Japaridze, L. A.; Abashidze, G. S.. Properties of Basalt

Plastics and of Composites Reinforced by Hybrid Fibers in Operating Conditions. In InTech, Ning Hu, **Composites and Their Applications, 2012.**

5. www.build-on-prince/basalt-fiber.html [acessado em 14.03.2014].
6. Colombo, C.; Vergani, L.; Burman, M. Static and fatigue characterization of new basalt fibre reinforced composites. *Composite Structures*, v.94, p. 1165-1174, 2012. In: C. J. Burgoyne, N. Taranu, K. Pilakoutas, A. Serbescu, V. Tamuzs, A. Weber. **FRP reinforcement in RC structures. Stuttgart: Sprint Digital, Druck Editor, 2007.**
7. Standard Test Methods for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials. **American Society for Testing Materials**
8. Leitão E. da Silva. **Mechanical characterization of polymeric composites with the reinforcement at different orientations.** Tese (Mestrado em Tecnologia Nuclear - Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2007.

Abstract

Basalt fiber reinforced composites present recent development. This amorphous fiber can overcome fiberglass in certain properties, e.g., exhibiting higher working temperature. Their strength and modulus values are among those presented by glass fiber-E and S. Furthermore, have good chemical and impact resistance. However, there are still few studies in the literature with this reinforcement. To design new components with basalt fiber and also for numerical analysis, the input data need to be determined and among them are the elastic properties. The objective of this work is to determine the mechanical and elastic properties of basalt/epoxy composite according to ASTM. Tensile tests were carried out on unidirectional laminates in the longitudinal and transverse directions. The laminates were manufactured by filament winding process. Yet, was determined the fiber content in the composite and the glass transition temperature of the epoxy matrix.

Keywords: basalt fiber, polymer matrix, mechanical characterization, tensile test.