

ANÁLISE DE TRAÇÃO EM PAINÉIS SANDUÍCHE COM NÚCLEO DE MADEIRA Balsa PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL

José Augusto da Costa Sousa Filho, jsousaf@yahoo.com¹

Renata Portela de Abreu, re.portela96@gmail.com¹

Anderson Felipe Chaves Fortes, anderson.fortesem@ifpi.edu.br¹

Ana Claudia Galvão Xavier, anaclaudia@ifpi.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, Praça da Liberdade, 1597, Centro, Teresina, PI, 64.000-040

Resumo: Trata-se de um estudo comparativo de compósitos sanduíche com núcleo de Madeira Balsa, no qual serão apresentados e analisados ensaios de combinações com três materiais de revestimento: fibra de vidro, fibra de carbono e fibra de aramida. Os corpos de prova foram confeccionados e submetidos a ensaios de tração conforme a norma ASTM C297/C297M-15, através da qual se obtém resultados referentes ao núcleo e ao reforço exterior. Obtém-se, portanto, o limite de resistência à tração, o módulo de elasticidade e a curva tração-deformação de cada produto. E, avalia-se a aplicabilidade dos compósitos no âmbito da indústria contemporânea e conclui-se que se qualificam excelentes alternativas para projetos que demandam boa resistência.

Palavras-chave: compósitos sanduíche, madeira balsa, resistência a tração.

1. INTRODUÇÃO

No âmbito da produção industrial, os materiais compósitos estão adquirindo cada vez mais importância, visto que a cada passo para a evolução da indústria, são exigidos materiais com mais qualidade estrutural e viabilidade econômica. Então, é pertinente perceber a importância de estudar e conhecer os compósitos, independentemente, da classificação ou da aplicabilidade. A Figura 1 mostra como os compósitos podem ser classificados.



Figura 1. Classificação dos compósitos de Callister (1999).

Desta forma, dadas as alternativas para a concepção do estudo, optou-se por explorar materiais compósitos do tipo painel em sanduíche. Ele consiste em duas faces externas, denominadas revestimento, separadas por um núcleo de baixa densidade e alta rigidez, e agregadas por uma matriz polimérica. Além disso, são compósitos com ampla aplicabilidade, principalmente, na indústria da atualidade, que configura o foco deste trabalho.

Então, para proceder às análises, determinou-se como núcleo a Madeira Balsa (*Ochroma pyramidale*), de peso específico médio entre 0,13 e 0,20g/cm³, por apresentar excelentes propriedades em relação ao peso e à capacidade de

enfraquecer vibrações mecânicas, além de possuir habilidade para ser aplicada em diversos setores industriais, como: náutico, naval, automotivo e aeronáutico. Utilizou-se as propriedades da madeira balsa indicadas na Tab. 1.

Tabela 1. Propriedades da Madeira Balsa, segundo Nasseh (2007).

PROPRIEDADE	VALOR (MPa)
Resistência a Compressão	12,70
Módulo de Compressão	4098,93
Resistência a Tração	13,50
Resistência ao Cisalhamento	3,00
Módulo de Cisalhamento	165,96

1.1. Fibra de Carbono

A expressão “fibra de carbono” (Fig. 2), geralmente, refere-se a uma variedade de produtos filamentosos compostos por mais de 90% de carbono e filamentos de 5 a 15 μm de diâmetro, produzidos pela pirólise da poliacrilonitrila (PAN), piche ou rayon (Lubin, 1969). São fibras com elevada qualidade no que se refere à resistência mecânica, sendo consideradas materiais de engenharia, por apresentarem valores de resistência muitas vezes maiores do que de alguns metais. Além disso, possuem um módulo elástico muito elevado, ou seja, são extremamente resistentes à deformação.

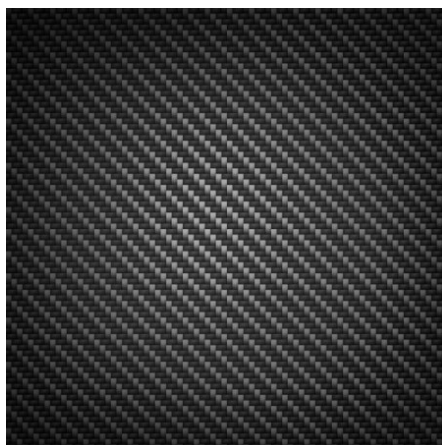


Figura 2. Tecido de fibra de carbono.

1.2. Fibra de Vidro

Este tipo de material é composto por filamentos de vidro muito finos (Fig. 3), que se agregam por meio de aplicações de resinas, silicones, fenóis e outros compostos solúveis em solventes orgânicos. Ela, também, recebe outra substância catalisadora que pode conter óxidos de potássio, ferro, cálcio e alumínio (SOARES et al, 2007). Permite a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos, tais como: placas para montagem de circuitos eletrônicos, cascos e hélices de barcos, fuselagens de aviões, caixas d'água, piscinas, pranchas de surf, recipientes de armazenamento, peças para inúmeros fins industriais em inúmeros ramos de atividade, carroçarias de automóveis, na construção civil e em milhares de outras aplicações.



Figura 3. Tecido de fibra de vidro.

1.3. Fibra de Aramida

Fiada a partir do nylon (Fig. 4), a fibra de aramida tem baixa densidade e possui como principal característica uma altíssima resistência ao cisalhamento, além de possuir elevada resistência a ataques químicos e altas temperaturas. Em virtude disto, são utilizadas em grande escala nos setores de balística e segurança e uniformes militares. Outras aplicações, deste material, incluem cabos marítimos, veículos espaciais, barcos, cintos de segurança, chassis de carros e paraquedas.

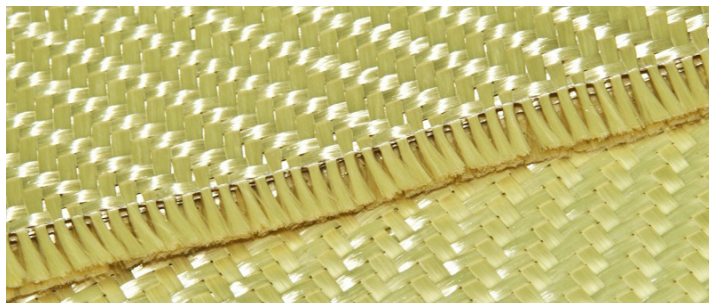


Figura 4. Tecido de fibra de aramida.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

No presente trabalho, a análise foi realizada com o intuito de verificar o comportamento dos materiais mediante um esforço mecânico de tração longitudinal e comparar a resistência máxima à tração de cada material estudado. Trata-se de um estudo comparativo, no qual serão apresentadas análises em três combinações de materiais. Os corpos de prova foram confeccionados e submetidos a ensaios de tração conforme a norma ASTM C297/C297M-15 (*Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions*). Essa norma apresenta o método a ser utilizado para se obter a resistência à tração do núcleo e do revestimento, na qual recomenda que a força seja transmitida para os corpos de prova através de um bloco de carga de forma uniaxial normal ao plano do revestimento.

Para a confecção dos blocos de carga (Fig. 5) utilizou-se uma barra cilíndrica de aço SAE 1020. Posteriormente, foram utilizados o torno mecânico e a máquina fresadora universal, do Instituto Federal do Piauí, para a obtenção das medidas sugeridas pela norma. Cada bloco de carga possui 70 mm de comprimento total, um paralelepípedo de base 25 mm x 25 mm $\pm$ 0,05mm e altura de 40 mm, com uma haste cilíndrica de diâmetro 15 mm e comprimento 30 mm em uma das faces. Os blocos de cargas foram projetados, conforme sugestão da norma, de maneira a poder ser fixado na máquina de ensaios disponível. Dessa forma, os blocos de carga foram presos nas garras da máquina de ensaio e os corpos de prova foram colados neles.



Figura 4. Bloco de carga.

Para a realização do estudo, escolheram-se as seguintes combinações de material sanduíche: madeira balsa com fibra de carbono; madeira balsa com fibra de aramida e madeira balsa com fibra de vidro (Fig. 6). Os tecidos de fibras utilizados, nesse trabalho, possuem trama plana. Como matriz polimérica, utilizou-se resina epóxi na proporção de 1/2, com densidade de $1,16 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, associada a um endurecedor com $1,13 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$. Para cada combinação de núcleo e revestimento, foram feitos cinco corpos de provas, totalizando quinze amostras. A laminação foi efetuada manualmente à temperatura ambiente e o tempo de cura adotado foi de 24 h.

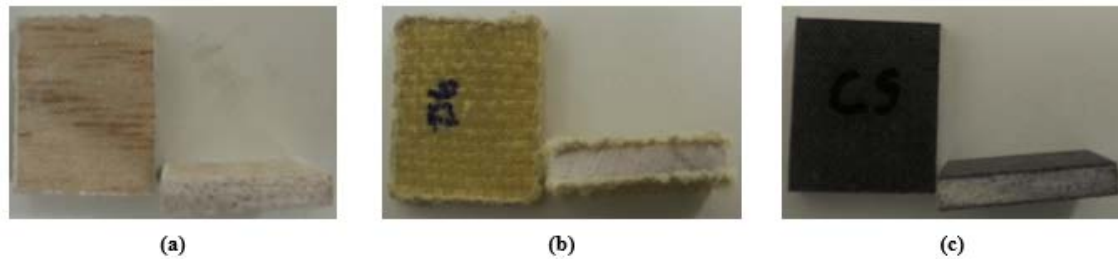


Figura 5. Materiais sanduíche: balsa com fibra de vidro (a), balsa com fibra de aramida (b) e balsa com fibra de carbono (c).

A fim de confeccionar os corpos de prova, foi laminada uma placa de cada material sanduíche e, em seguida, foram cortados os corpos de provas com dimensões próximas as finais. Para o corte dos corpos de prova utilizou-se um disco de corte, com 31,8 mm de diâmetro e 1,59 mm de espessura, acoplado a uma retífica modelo MMR 135, com potência máxima de 135 W e rotação entre 15.000 e 35.000 rpm. Posteriormente, lixaram-se os corpos de prova com lima manual chata, afilada e bastarda, até obterem-se as dimensões finais do bloco quadrado (25 mm x 25 mm $\pm$ 0,03mm). Para averiguação das dimensões dos corpos de prova, usou-se um micrômetro de precisão de 0,01 mm e uma balança de precisão de 0,1 g. As características finais de cada corpo de prova são mostradas na Tab. 2. Feito isso, os corpos de provas foram identificados e armazenados em local protegido de umidade ou qualquer outra adversidade que interfira nos resultados finais.

Tabela 2. Características das amostras com revestimento de fibra de vidro, de carbono e de aramida indicadas respectivamente por V, C e B.

CORPO DE PROVA	ESPESSURA (mm)	MASSA (g)	DENSIDADE (g/mm ³)
V1	3,86	0,9	$3,73 \times 10^{-4}$
V2	3,94	1,1	$4,47 \times 10^{-4}$
V3	3,90	0,9	$3,69 \times 10^{-4}$
V4	3,90	1,0	$4,10 \times 10^{-4}$
V5	3,94	1,1	$4,47 \times 10^{-4}$
C1	3,92	1,0	$4,08 \times 10^{-4}$
C2	3,91	1,0	$4,09 \times 10^{-4}$
C3	3,91	1,0	$4,10 \times 10^{-4}$
C4	3,91	0,9	$3,68 \times 10^{-4}$
C5	3,90	0,9	$3,69 \times 10^{-4}$
B1	4,05	1,2	$4,74 \times 10^{-4}$
B2	4,03	1,1	$4,37 \times 10^{-4}$
B3	3,99	1,1	$4,41 \times 10^{-4}$
B4	4,06	1,1	$4,33 \times 10^{-4}$
B5	4,03	1,1	$3,37 \times 10^{-4}$

2.2. Método

Os corpos de prova foram fixados com adesivo à base de cianocrilato aos blocos de carga (Fig. 7) e submetidos à tensão exercida pela máquina de ensaio. Os blocos de carga e o corpo de prova, a ser ensaiado, foram fixados, de forma alinhada, com as garras da máquina para evitar uma falha prematura do material analisado. Este dispositivo auxiliar foi planejado e executado conforme a norma ASTM C297/C297M – 15.



Figura 6. Corpo de prova fixado ao bloco de carga.

Para a realização do procedimento de ensaio de tração, utilizou-se a Máquina Universal de Ensaio, modelo AG-X. Ela tem capacidade de carga máxima de 250 KN, com método de carregamento direto, alta precisão e uma taxa constante de tensão. Possui, também, uma precisão de capacidade de carga de $1/250 \pm 0,3 \%$ da força mostrada. A velocidade de ensaio usada foi de 0,50 mm/min, conforme sugestão da ASTM C297/C297M – 15. Primeiramente, foi utilizada uma amostra para averiguação da correta utilização dos parâmetros de ensaios pré-estabelecidos na norma. A Figura 8 exibe o início de um dos ensaios realizados em material sanduíche com núcleo de balsa. Além da tração máxima, o processo, também, forneceu o módulo de elasticidade dos corpos de provas estudados.



Figura 7. Corpo de prova instante antes do ensaio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 3 apresenta uma comparação das principais propriedades obtidas ao final do ensaio de tração dos corpos de prova. Ressalta-se que, por se tratar de um compósito natural, a madeira balsa possui propriedades variáveis ao longo de cada núcleo dos corpos de prova. Nasseh *et al.* (2007) afirma que, “a resistência máxima à tração encontrada em um dos tipos de madeira balsa é de 20,59 N”. Entretanto, a partir do uso de balsa em associação com outros materiais, verificou-se um melhoramento na resistência aos esforços de tração.

Tabela 3. Propriedades dos Painéis Sanduíche com núcleo de Madeira Balsa revestidos com fibra de vidro (V), de carbono (C) e de aramida (B), obtidas através de Ensaio de Tração Longitudinal.

CORPO DE PROVA	TRAÇÃO MÁXIMA (MPa)	MÓDULO DE YOUNG (N/mm)	TENSÃO MÁXIMA (N/mm ²)
V1	69,74	10,64	0,1116
V2	1148,54	24,98	1,8377
V3	51,86	9,89	0,0830
V4	1228,61	36,04	1,9658
V5	1390,66	34,14	2,2251
C1	191,37	10,19	0,306
C2	207,11	15,95	0,331
C3	1435,56	30,94	2,297
C4	135,06	6,17	0,216
C5	1267,27	27,64	2,028
B1	5,17	0,23	0,008
B2	37,11	0,63	0,059
B3	47,01	0,78	0,075
B4	19,07	0,18	0,031
B5	117,82	5,91	0,189

O compósito sanduíche de fibra de carbono com madeira balsa obteve uma resistência à tração máxima durante os ensaios de 1.435,56 N. A Figura 9 indica a fratura sofrida pelo corpo de prova durante o ensaio. Todos os corpos de prova sofreram fratura similar, sendo elas no núcleo do sanduíche. A combinação fibra de carbono com balsa foi a que obteve melhores resultados em termos de resistência a tração e densidade do material analisado.



Figura 8. Corpo de prova em instante pós-ensaio.

O painel sanduíche com camada externa de aramida obteve uma resistência à tração máxima de 117,819 N. O corpo de prova que obteve a tração máxima foi o único que teve sua fratura localizada no núcleo do corpo de prova ensaiado. Contudo, os tipos de colas disponíveis no mercado de Teresina (PI), como: epóxi e cianocrilato, não apresentaram uma boa adesão ao tecido de aramida. Como consequência disto, as amostras descolaram do bloco de carga, resultando em trações inverossímeis. A Figura 10 mostra a fratura proveniente da carga máxima no ensaio de tração.

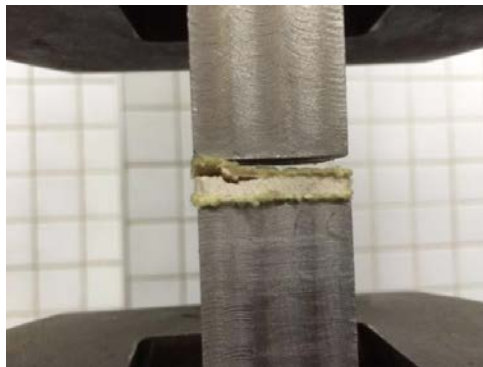


Figura 9. Fratura em corpo de prova revestido de fibra de aramida.

Os corpos de provas de balsa com fibra de vidro obtiveram uma resistência à tração máxima bem próxima aos que possuem camada externa de fibra carbono, bem como mostraram valores de densidade bem próximos. A resistência à tração máxima encontrada para os corpos de prova que possuem camada externa de fibra de vidro foi de 1.390,66N. A Figura 11 ilustra a fratura no núcleo do corpo de prova. Este tipo de fratura foi verificado em todos os ensaios realizados nas amostras que possui fibra de vidro como camada externa.



Figura 11. Fratura em corpo de prova revestido de fibra de vidro.

A Figura 12 traz os gráficos obtidos dos ensaios, mostrando um comportamento característico dos corpos de prova de balsa com fibra de carbono e de balsa com fibra de vidro, que obtiveram maior resistência à tração durante ensaio. Os gráficos possuem curvas bem similares. Nota-se que a madeira balsa e o revestimento externo possuem uma fase elástica quase linear, e que a fase plástica é praticamente inexistente nesses tipos de amostras, uma vez que a ruptura ocorre logo após o limite de resistência à tração ser alcançado.

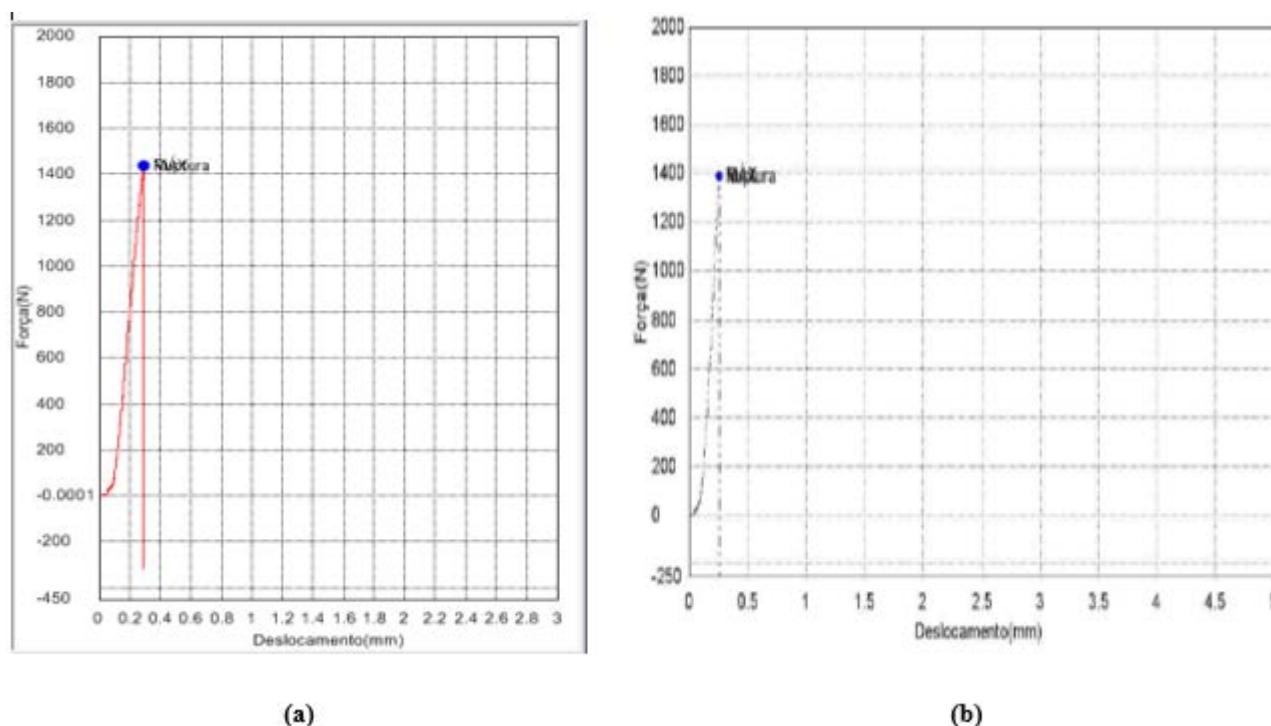


Figura 10. Gráfico tensão-desformação dos corpos de prova de balsa com fibra de carbono (a) e balsa com fibra de vidro (b).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram que os painéis em sanduíche com núcleo de Madeira Balsa apresentam características requeridas por diversos setores da indústria. O produto (compósito) obtido nesse trabalho apresentou características, como: alta leveza e alta rigidez, quando comparado a apenas a madeira balsa. Pois, a resistência à tração foi elevada em todas as combinações estudadas (sanduíches de madeira balsa com fibra de carbono; madeira balsa com fibra de aramida e madeira balsa com fibra de vidro).

Constatou-se que o material sanduíche composto de núcleo de balsa com camadas exteriores de fibra de carbono apresentou os melhores resultados nos ensaios de tração. Entretanto, o tecido desta fibra possui elevado preço no mercado. Por outro lado, o produto revestido de fibra de vidro apresenta características similares, porém, inferiores ao primeiro, tornando-se assim, uma alternativa econômica para projetos que não exijam valores muito altos de resistência à tração.

No que se refere ao material analisado com camada exterior de tecido de aramida, o que se pode afirmar é que suporta uma tração superior a máxima encontrada nesse trabalho. Ao utilizar-se colas a base de epóxi e a base de cianocrilato para unir o corpo de prova aos blocos de carga, nenhum dos tipos de adesivos químicos teve êxito em aderir de forma satisfatória o conjunto para o ensaio ter sido realizado de forma plena.

Finalizando, os ensaios mostraram que os materiais sanduíches analisados revelam-se como vantajosas opções para uso em diversos setores da indústria.

5. AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus Teresina Central pelo apoio na realização da pesquisa e aos estudantes do IFPI Yure Claudio Cordeiro de Lima, do Mestrado em Engenharia de Materiais, e Frederico Moraes de Oliveira, de Engenharia Mecânica, pelo auxílio na realização dos ensaios.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM, 2015, "C297 / C297M-15 Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions", ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Callister Jr, W. D., 1999, "Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução", LTC, Rio de Janeiro, Brasil, p. 360.
- Lubin, G., 1969, "Handbook of Composites", Ed. Van Nostrand Reinhold, Nova York, United States of America.
- Nasseh, J., 2007, "Barcos- Métodos Avançados de Construção em Composites", Rio de Janeiro, Brasil.
- Soares, R. R. et al, 2077, "Influência do tipo de fibra nas propriedades de compósitos processados por moldagem por transferência de resina", Anais do 9º Congresso Brasileiro de Polímeros, Universidade de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

ANALYSIS OF TRACTION IN PANELS SANDWICH WITH FERRY WOOD CENTER FOR INDUSTRIAL APPLICATION

José Augusto da Costa Sousa Filho, jsousaf@yahoo.com¹

Renata Portela de Abreu, re.portela96@gmail.com¹

Anderson Felipe Chaves Fortes, anderson.fortesem@ifpi.edu.br¹

Ana Claudia Galvão Xavier, anaclaudia@ifpi.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - IFPI, Praça da Liberdade, 1597, Centro, Teresina, PI, 64.000-040

Abstract. *This is a comparative study of composite sandwich with balsa wood core, which will be presented and analyzed combinations of three trials coating materials: glass fiber, carbon fiber and aramid fiber. The samples were prepared and subjected to tensile tests according to ASTM C297 / C297M-15, through which you get results for the core and strengthening. Is obtained, so the tensile strength limit, the elastic modulus and tensile-strain curve for each product. And it evaluated the applicability of the composite under contemporary industry and it is concluded that qualify excellent alternatives for projects requiring good resistance.*

Keywords: *composite sandwich, balsa wood, resistance to traction*