

## Painéis sanduíches de poliéster reforçado com fibras de rami para aplicação na Construção Civil

Polyester sandwich panels reinforced with ramie fibers for use in civil construction

Leila Aparecida de Castro Motta<sup>1</sup>, Lauren Karoline de Sousa Gonçalves<sup>1</sup>,  
Monise Ramos da Silva<sup>1</sup>, Jesiel Cunha<sup>1</sup>, Marília Estábile Dantas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Engenharia Civil – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG

e-mail: lacastro@ufu.br;

laurenkaroline@feciv.ufu.br; moniseramosilva@hotmail.com; jecunha@ufu.br; mary\_lia\_@hotmail.com

---

### RESUMO

Neste trabalho foram produzidos e caracterizados mecanicamente compósitos de resina de poliéster reforçada com tecido bidirecional de fios de rami, com diferentes teores de reforço. Estes compósitos foram testados experimentalmente e numericamente como faces de painéis sanduíches formados com núcleos de bucha vegetal impregnada com resina de poliéster e poliestireno expandido – EPS. A caracterização mecânica dos materiais em estudo foi realizada em laboratório a partir de ensaios de tração e flexão, e simulação numérica pelo Método de Elementos Finitos (MEF). A microestrutura do compósito foi analisada por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A partir das propriedades mecânicas obtidas para os compósitos reforçados com tecido bidirecional de fios de rami e núcleos de EPS e bucha vegetal, observou-se viável a confecção de painéis sanduíches para aplicação na Construção Civil. Os compósitos com 50% de volume de fios de rami apresentaram as melhores propriedades mecânicas e foram usados como faces nos protótipos dos painéis. Os núcleos em estudo apresentaram bons resultados, com destaque para a bucha vegetal impregnada de resina poliéster, que apresentou maior rigidez e opções de confecção de painéis com maiores dimensões e mais delgados. O presente trabalho evidenciou o potencial das fibras vegetais para uso como constituintes dos compósitos poliméricos e núcleo dos painéis sanduíches e, portanto, revela uma nova alternativa de aproveitamento dessas fibras para aplicação no setor da construção.

**Palavras-chave:** Compósito. Fibra de rami. Fibra de bucha vegetal. Pannel sanduíche. Resina poliéster.

---

### ABSTRACT

In this work, composites of polyester resin reinforced with ramie fiber bidirectional woven cloth in different content by volume have been produced and characterized. These composites were tested experimentally and numerically as faces of sandwiches panels with cores of sponge gourd impregnated with polyester resin and expanded polystyrene-EPS. Mechanical characterization of these materials was conducted in the laboratory from tensile and bending tests, and numerical simulation using Finite Element Method (FEM). The composite was analyzed by Scanning Electron Microscopy (SEM). The mechanical properties obtained for the composites and cores showed viable making sandwich panels for application in construction. The composites with 50% volume fibers presented the best mechanical properties and have been used as faces in prototypes of the panels. The cores in study showed good results, with emphasis on the sponge gourd impregnated with polyester resin, which showed the highest stiffness and making options with larger and thinner panels. The present study showed the potential of natural fibers for use as reinforcing of polymeric composites and sandwich panels cores and so a new alternative use of these fibers for applications in the construction.

**Keywords:** Composite. Ramie fiber. Sponge gourd fiber. Sandwich panel. Polyester resin.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento do setor da construção civil, é crescente a necessidade em utilizar recursos renováveis para produção de novos materiais. Compósitos utilizando diferentes fibras vegetais como reforço de polímeros têm recebido considerável atenção dos pesquisadores, com destaque para as fibras de rami que apresentam boas propriedades mecânicas e boa aderência à matriz polimérica [5, 15, 14]. Os compósitos podem ser utilizados como constituintes de painéis sanduíches, apresentando como vantagem leveza, resistência mecânica e à corrosão, boas propriedades de isolamento térmico e durabilidade. No entanto, possuem baixa resistência a altas temperaturas e algumas vezes custo de fabricação mais elevado quando comparados a materiais tradicionais [1].

O Brasil é um país com grande diversidade em cultura de fibras vegetais o que torna viável a exploração deste recurso natural como constituinte de materiais compósitos [10, 12]. As fibras vegetais são fontes renováveis e abundantes, apresentam baixa densidade, alta deformabilidade e baixo custo, quando comparadas com materiais similares [9, 11, 15, 14].

Este trabalho determinou experimentalmente e por simulação numérica as propriedades mecânicas para análise da viabilidade da produção dos painéis com os materiais em estudo, de modo a encontrar a melhor combinação de materiais, avaliando também o melhor percentual do teor de fibras na matriz e espessuras de faces e núcleo.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Os compósitos foram produzidos com matriz de poliéster reforçada com tecido bidirecional de fios de rami com diâmetro aproximado de 0,5 mm (Figura 1). O tecido bidirecional com fios de rami foi cortado com comprimento e largura de 20,5 cm x 20,5 cm, secos em estufa a 60 °C por 24 horas, observando perda de umidade de aproximadamente 10%.



a) Tecido bidirecional de rami.



b) Tecido preparado para moldagem.

**Figura 1:** Tecido bidirecional de fios de rami.

A resina de poliéster do tipo insaturado ortoftálico foi adquirida da empresa Avipol Comercial Ltda., com catalisador à base de metil-etil-cetona (BUTANOX), na proporção de 3% em massa, conforme recomendado pelo fabricante. A escolha da matriz de poliéster foi devido à boa compatibilidade com fibras vegetais, facilidade de manuseio e custo [13]. A Tabela 1 apresenta as características da resina de poliéster utilizada. A massa específica média da resina foi determinada pela relação entre massa e volume, obtendo-se um valor de  $1,18 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ .

Como adesivos para unir os compósitos das faces aos núcleos foram utilizadas as resinas: poliéster para o núcleo de bucha vegetal e epóxi para o núcleo de EPS, devido a incompatibilidade entre poliéster e EPS. As resinas epóxi usadas foram: a epóxi fluida cinza (EF) e epóxi incolor com endurecedor (EI), adquiridas das empresas MC-Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda. e Avipol Comercial Ltda., respectivamente. As características dos componentes, segundo dados dos fabricantes, estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 1:** Características da resina de poliéster utilizada.

CARACTERÍSTICAS	RESINA POLIÉSTER	CATALISADOR BUTANOX
Aparência	Líquido viscoso âmbar	Líquido incolor
Viscosidade 25 °C, cPs	1600	–
Peso específico, 25 °C, (g/cm <sup>3</sup> )	1,20 ± 0,05	1,14 ± 0,05

**Tabela 2:** Características das resinas epóxi utilizadas.

CARACTERÍSTICAS	RESINA EPÓXI FLUIDA	RESINA EPÓXI INCOLOR	ENDURECEDOR
Aparência	Líquido pastoso cinza	Líquido viscoso incolor	Líquido amarelado
Viscosidade 20 °C, cPs	–	11000 – 14000	100 máx.
Peso específico, 20 °C, (g/cm <sup>3</sup> )	–	1,16 ± 0,01	1,005 ± 0,015
Proporção de mistura (g) (resina:endurecedor)	70 – 100	100	23

Os materiais do núcleo devem ser bons isolantes térmicos e acústicos, impermeáveis, resistentes ao fogo e ao cisalhamento. É função do núcleo separar as faces, garantindo alto momento de inércia e resistência às deformações perpendiculares ao plano da face, e ainda proporcionar resistência à compressão compatível aos esforços de utilização do material, evitando o esmagamento do painel. A bucha vegetal com comprimento variando de 85 cm a 100 cm e diâmetro de 2 cm a 9 cm, foi selecionada para compor o núcleo dos painéis sanduíches por apresentar fibras dispostas de forma estruturada, o que facilita a produção. O EPS foi escolhido devido às suas propriedades mecânicas e isolantes, baixa densidade, facilidade de manuseio, custo reduzido e disponibilidade de aquisição. Usou-se EPS Tipo I, aplicado à Construção Civil com massa específica 10 kg/m<sup>3</sup> (Figura 2).



a) Bucha vegetal.



b) Poliestireno expandido.

**Figura 2:** Materiais para os núcleos dos painéis sanduíches

## 2.2 Produção dos compósitos

Os compósitos foram preparados por compressão a frio, carga de 400 kN, em temperatura ambiente (25 °C a 30 °C) por 24 horas, para obter placas com espessura de aproximadamente 3 mm. A fôrma metálica utilizada tem dimensões internas de 20,5 cm x 20,5 cm x 2,5 cm e a prensa hidráulica é da marca EMIC, modelo PCN 100/20, com capacidade de 1200 kN (Figura 3). A preparação dos compósitos foi realizada em camadas alternadas de resina e fibras em teores de 30%, 40% e 50% em volume.

Os núcleos foram produzidos com espessura de 3 cm, definida a partir de simulações numéricas dos painéis sanduíches. Os blocos de EPS foram cortados com dimensão de 20,5 cm x 20,5 cm e lixados para obter superfície rugosa com maior aderência com as faces.

Na produção dos núcleos com fibra de bucha vegetal utilizou-se fôrma de madeira com fundo vazado e dimensões internas de 20,5 cm x 20,5 cm (Figura 4a). Os núcleos de bucha vegetal foram produzidos cortando as buchas e impregnando as mesmas com resina de poliéster em toda a superfície, deixando em processo de absorção a temperatura ambiente (Figura 4b). O uso da bucha nesta configuração foi feita com o intuito de obter um núcleo com geometria semelhante ao núcleo colmeia (Figura 4c). A impregnação da bucha com resina poliéster foi feita para dar maior rigidez à estrutura natural da bucha vegetal, além de servir

como proteção contra umidade e outros agentes de deterioração.



a) Prensagem dos compósitos.



b) Placa moldada.

**Figura 3:** Produção dos compósitos das faces.



a) Fôrma de madeira com fundo vazado.



b) Impregnação de bucha vegetal com poliéster.



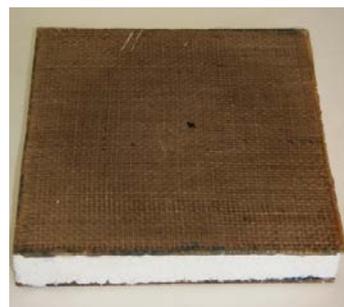
c) Núcleo produzido de bucha vegetal.

**Figura 4:** Produção do núcleo com fibra de bucha vegetal.

Para produção e análise experimental dos painéis sanduíches selecionaram-se compósitos de poliéster reforçado com tecido bidirecional de rami (50% em volume), na espessura de 2 mm para a constituição das faces e 3 cm para os núcleos (Figura 5). A escolha do volume de fibras dos compósitos e espessuras dos componentes de faces e núcleos foi feita com base nos resultados obtidos na simulação numérica dos painéis, como apresentado na seção de resultados.



a) Núcleo de bucha vegetal e adesivo poliéster.



b) Núcleo de EPS e adesivo epóxi incolor.



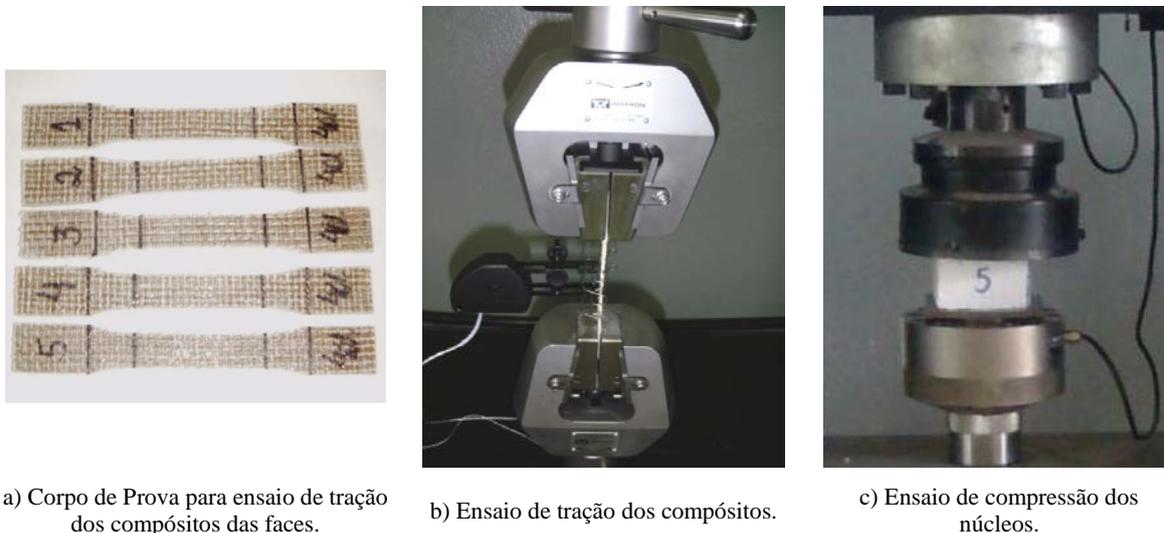
c) Núcleo de EPS e adesivo epóxi cinza.

**Figura 5:** Painéis sanduíches produzidos.

### 2.3 Ensaios dos compósitos, núcleos e painéis sanduíches

Os corpos de prova dos compósitos foram recortados no formato e dimensões recomendadas pela ASTM D638:2010 [4], conforme ilustrado na Figura 6, em uma máquina de corte de precisão com fresa, marca ROUTER. Os ensaios de tração foram realizados em máquina universal Instron, modelo 5982, com célula de carga de 100kN, seguindo procedimentos da norma ASTM D3039:2008 [3]. A carga foi aplicada com taxa de deslocamento de 2mm/min. Determinaram-se módulo de elasticidade, limite de resistência à tração e limite

de deformação à tração dos compósitos. O módulo de elasticidade foi determinado com extensômetro Instron na fase elástico linear pela tangente da curva tensão x deformação, para deformação de até 0,3%. Para caracterização mecânica dos núcleos, os corpos de prova confeccionados com dimensões de 8 cm de largura x 8 cm de comprimento, 5 cm de altura para o EPS e 3 cm para a bucha vegetal. Os corpos de prova foram ensaiados a compressão, seguindo as recomendações da ABNT NBR 8082:1983 [6], em uma máquina universal de ensaios EMIC, modelo DL 60000 com velocidade de ensaio de 0,25 cm/min.



**Figura 6:** Ensaios dos compósitos das faces e núcleos dos painéis sanduíches.

Os painéis foram ensaiados à flexão em 4 pontos, com vão de 162 mm e velocidade de 6 mm/min, utilizando máquina universal Instron, modelo 5982, com célula de carga de 5 kN, seguindo procedimentos da norma ASTM C393/C393M:2011 [2]. A Figura 7 ilustra os corpos de prova com 5 cm de largura e 20 cm de comprimento e o ensaio de flexão.



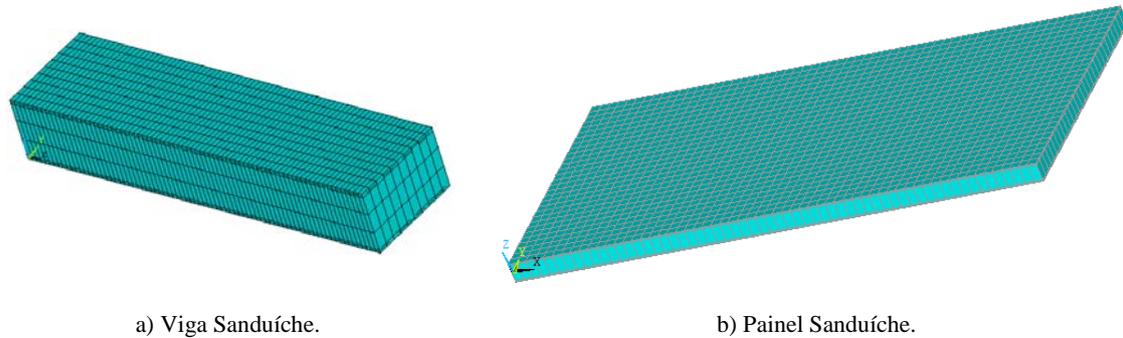
**Figura 7:** Corpos de prova e ensaios dos painéis sanduíches.

Foi realizada análise por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para avaliar a superfície de fratura dos compósitos utilizando equipamento CARL ZEISS, modelo EVO MA10, com feixe de elétrons de 5kV e detector de elétrons secundários. As amostras foram metalizadas com ouro.

## 2.4 Simulação numérica

Estimaram-se parâmetros iniciais para a confecção dos componentes de face e núcleo dos painéis, a partir das propriedades mecânicas da resina e das fibras apresentadas na literatura, utilizando a "Lei das Misturas" para estimar as propriedades elásticas e o Método dos Elementos Finitos (MEF) para simular os painéis sob flexão. Os resultados obtidos dos modelos simulados pelo ANSYS® serviram como ponto de partida para a produção dos compósitos caracterizados, definindo-se a espessura, a orientação das camadas e teor de

volume de fibras. Os compósitos produzidos foram caracterizados experimentalmente e outra etapa de simulação foi realizada utilizando as propriedades elásticas obtidas a partir de medições experimentais do comportamento à flexão dos painéis para ajuste dos modelos dos painéis sanduíches. Após o ajuste do modelo, os painéis foram simulados com dimensões de 0,625 m × 0,625 m; 1,25 m × 0,625 m e 1,0 m × 0,5 m, com espessura do núcleo de 10 mm a 100 mm e carga de 500 N/m<sup>2</sup> distribuída uniformemente. Os deslocamentos máximos dos painéis (3 mm e 15 mm) foram analisados segundo recomendações da ABNT NBR 15366/1:2006. A Figura 8 apresenta os modelos simulados.

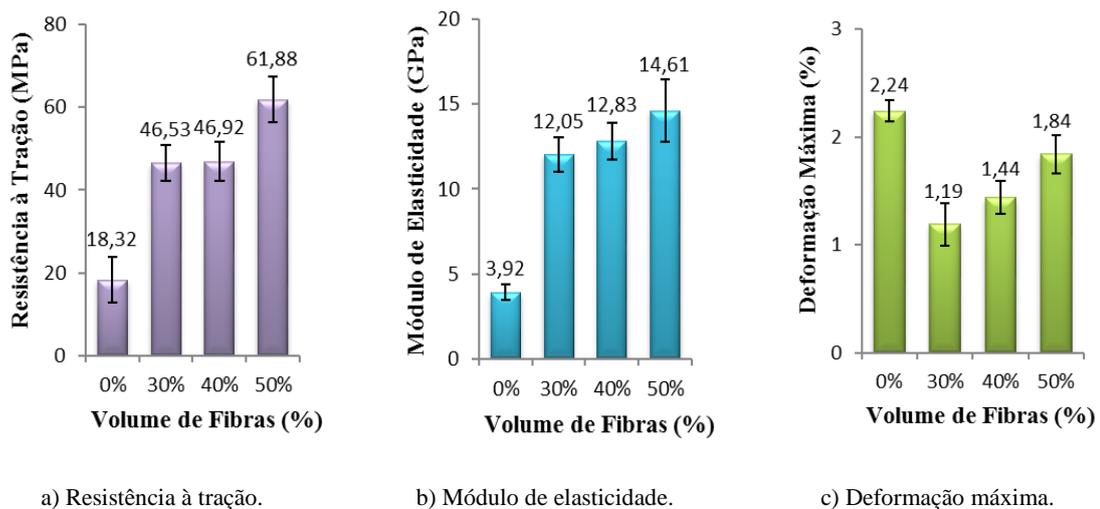


**Figura 8:** Modelos gerados pelo ANSYS®.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

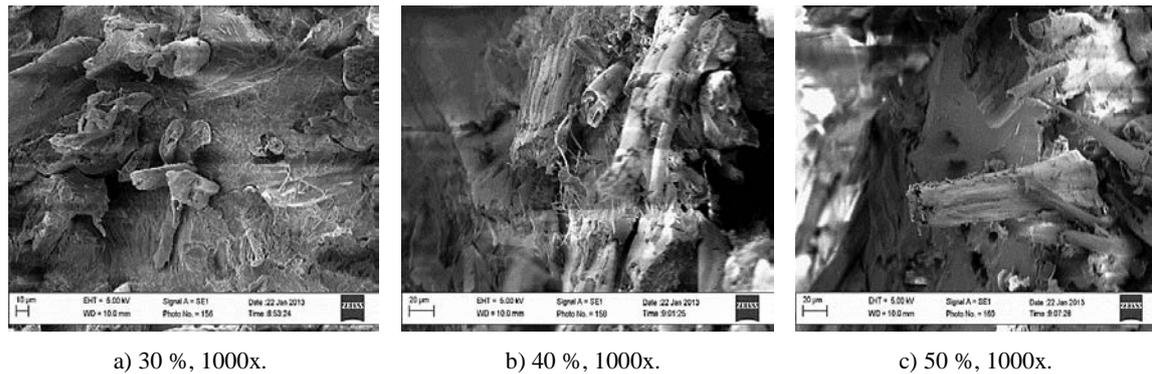
A resistência à tração e o módulo de elasticidade dos compósitos aumentaram com o incremento de reforço na matriz, sendo os valores máximos obtidos para o compósito com 50% de volume de fibra (61,88 MPa e 14,61 GPa), resultando em aumento percentual de 238% na resistência e 273% no módulo em relação à matriz de poliéster e de 33% na resistência e 21% no módulo, em relação ao volume de 30% de fibra (Figura 9). Sendo assim, esse foi o compósito utilizado para a produção dos painéis sanduíches.

Na literatura os compósitos estudados com tecido de rami e resina insaturada de poliéster tem teor máximo de 30% em volume. LEI *et al* [8] encontraram resistência à tração ligeiramente inferior à obtida neste trabalho para o teor de 30%, com valores iguais a 40 MPa e 6 GPa de resistência à tração e módulo de elasticidade na flexão, respectivamente. Outros trabalhos que também usam a fibra de rami como reforço em compósitos poliméricos, geralmente aplicam a fibra alinhada unidirecionalmente ou distribuída aleatoriamente, mas não em forma de tecido e, portanto, os resultados não são comparáveis com os obtidos neste estudo [12, 16, 15].



**Figura 9:** Resultados obtidos nos ensaios de tração dos compósitos.

As micrografias da seção de ruptura dos compósitos mostraram que a ruptura das fibras ocorreu em detrimento do seu arrancamento da matriz, evidenciando a boa aderência entre o tecido de rami e a matriz de poliéster (Figura 10).



a) 30 %, 1000x.

b) 40 %, 1000x.

c) 50 %, 1000x.

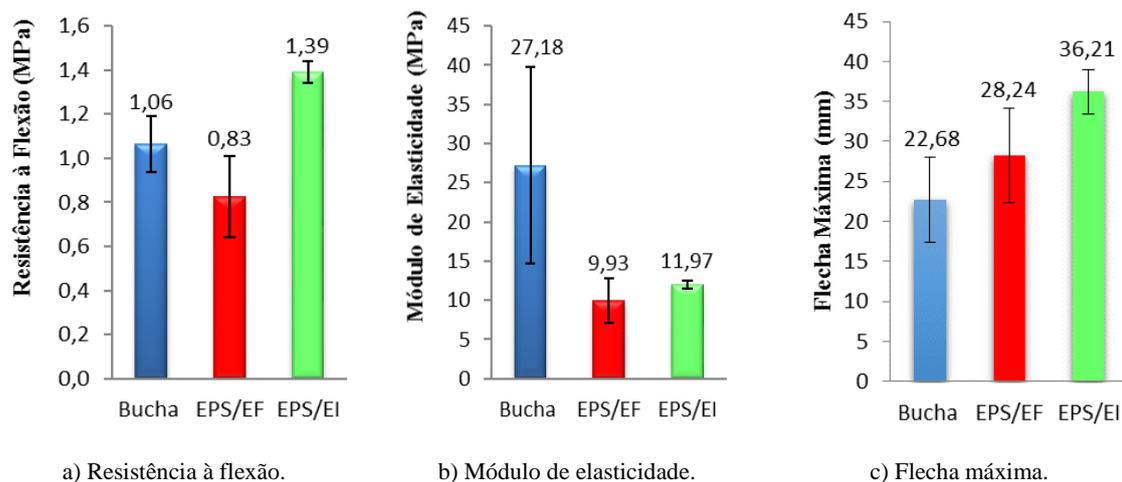
**Figura 10:** Micrografias das seções de ruptura dos compostos de poliéster reforçados com tecido bidirecional de fios de rami.

A resistência à compressão obtida no ensaio do EPS atende ao valor mínimo especificado pela ABNT NBR 11752: 2007. O núcleo de bucha vegetal impregnada com resina de poliéster apresentou maiores valores de resistência à compressão e módulo de elasticidade comparado ao EPS (Tabela 3). A configuração adotada para a confecção do núcleo com a bucha revelou boas propriedades mecânicas, garantidas pela impregnação com a resina, sem alterar a leveza da estrutura reticulada da bucha.

**Tabela 3:** Propriedades mecânicas dos núcleos obtidas nos ensaios de compressão.

NÚCLEOS	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO A 10% DE DEFORMAÇÃO	MÓDULO DE ELASTICIDADE
	(kPa)	(kPa)
EPS	33,3 ± 2,1	250,0 ± 11,8
Bucha vegetal	70,88 ± 14,04	13.048,40 ± 1.838,14

Os painéis sanduíches com núcleo de EPS/EI apresentaram maior resistência à flexão, enquanto que com núcleo de bucha vegetal apresentaram maior módulo de elasticidade e, conseqüentemente, menor flecha. O painel com maior módulo de elasticidade foi com núcleo de bucha vegetal, sendo até 125 % maior do que aqueles com núcleos de EPS (Figura 11).



a) Resistência à flexão.

b) Módulo de elasticidade.

c) Flecha máxima.

**Figura 11:** Propriedades mecânicas dos painéis sanduíches obtidas nos ensaios de flexão.

Os painéis com núcleo de EPS apresentaram fratura por cisalhamento do núcleo, conforme pode ser visualizado na Figura 12a. Nos painéis com núcleo de bucha constataram-se dois tipos de falhas, por descolamento das faces e por cisalhamento do núcleo (Figura 12b). Esclarece-se ainda que os descolamentos das faces apresentados nesses painéis somente ocorreram sob deformações excessivas no ensaio, que foi prolongado, mas que não aconteceria em condições normais de utilização.

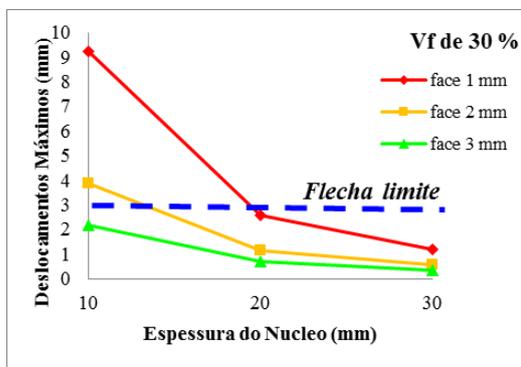


a) Cisalhamento no núcleo de EPS.

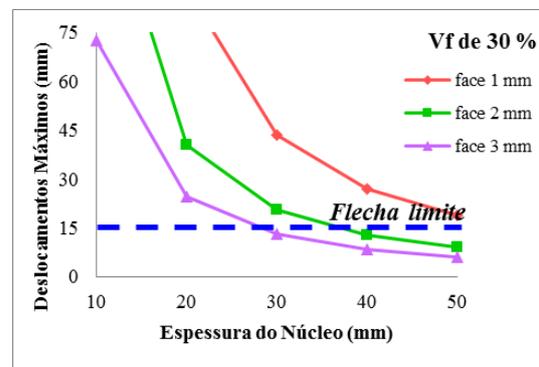


b) Descolamento das faces no núcleo de bucha.

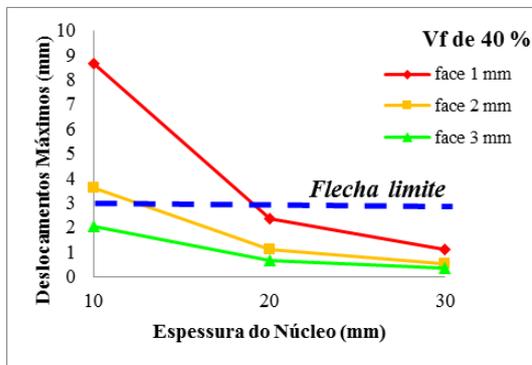
Figura 12: Tipos de falha dos núcleos nos ensaios de flexão.



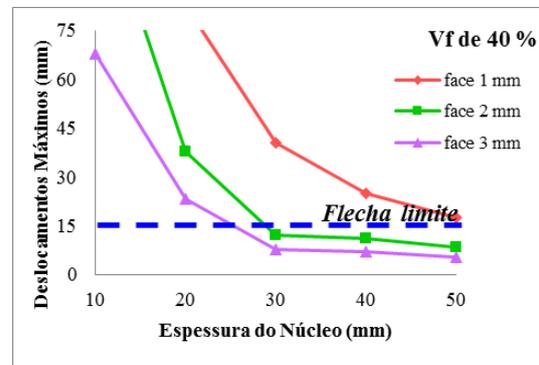
a) 1,0 m x 0,5 m e 30% em volume.



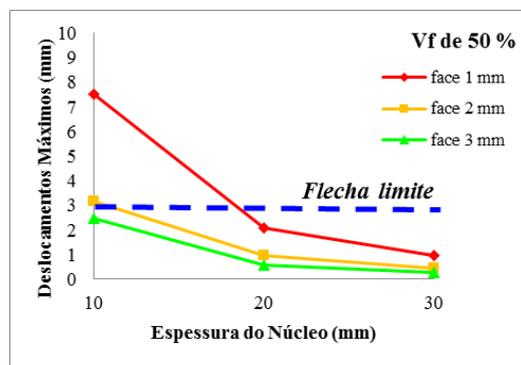
b) 3,0 m x 1,0 m e 30% em volume.



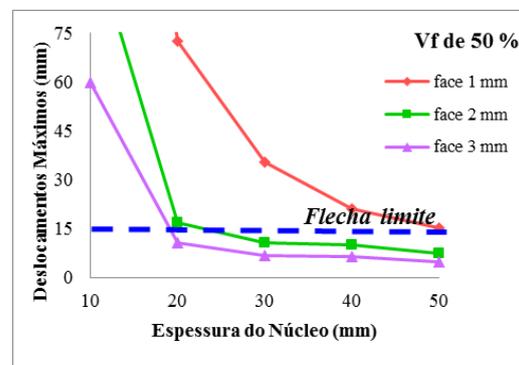
c) 1,0 m x 0,5 m e 40% em volume.



d) 3,0 m x 1,0 m e 40% em volume.



e) 1,0 m x 0,5 m e 50% em volume.



f) 3,0 m x 1,0 m e 50% em volume.

Figura 13: Deslocamentos máximos dos painéis sanduíches com diferentes dimensões e volume de tecido de rami.

A Figura 13 mostra os resultados da simulação numérica dos painéis com dimensão de 1,0 m x 0,5 m e 3,0 m x 1,0 m, feita inicialmente para definir as características dos protótipos a serem fabricados. Variou-se o volume de fibras dos compósitos das faces de 30% a 50%, as espessuras das faces de 1 mm a 3 mm e as dimensões dos núcleos de 10 mm a 30 mm. Observou-se, em função dos deslocamentos, que a constituição viável é dada a partir de espessura de 2 mm para as faces e núcleos com espessuras acima de 20 mm.

A Figura 14 ilustra os deslocamentos apresentados pelos painéis simulados numericamente no ANSYS®, com dois bordos apoiados sob carregamento uniforme. A simulação numérica dos painéis sanduíches, realizada após o ensaio de flexão, apresentou resultados similares aos experimentais conforme apresentado na Tabela 4. Os modelos dos painéis com núcleo de bucha, por apresentarem maior variação na resposta experimental, quanto à uniformidade do comportamento e do mecanismo de ruptura, foram ajustados em função das propriedades elásticas, para que representasse o protótipo ensaiado.

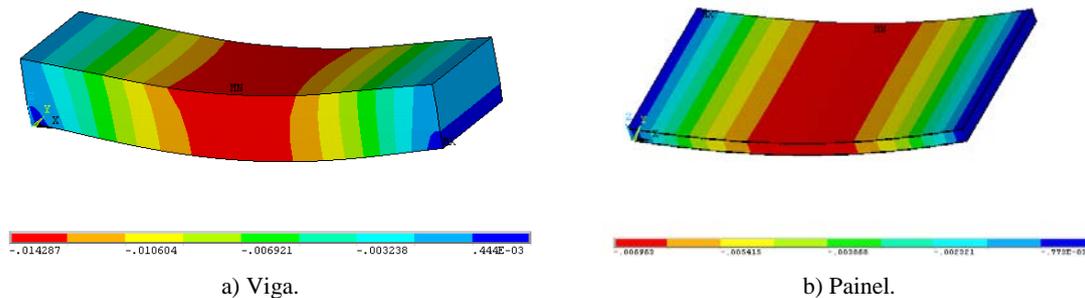


Figura 14: Deslocamentos dos painéis sanduíches simulados numericamente à flexão (em metros).

Tabela 4: Deslocamentos máximos à flexão dos painéis sanduíches obtidos nos ensaios e simulados.

CPs	EPS/EPÓXI INCOLOR (mm)		EPS/EPÓXI FLUIDA (mm)		BUCHA VEGETAL IMPREGNADA (mm)	
	EXPERIMENTAL	SIMULADO	EXPERIMENTAL	SIMULADO	EXPERIMENTAL	SIMULADO
1	39,39	37,64	22,02	19,61	19,54	18,58
2	38,24	35,97	33,56	27,83	24,92	24,15
3	32,24	32,49	22,48	19,12	28,09	31,05
4	34,99	35,28	18,15	22,72	13,29	16,32
5	—	—	30,09	28,69	21,63	20,92
6	—	—	33,10	27,79	20,81	22,44
7	—	—	32,67	27,05	27,29	28,76

Os painéis foram então simulados considerando modelos com comportamentos similares aos protótipos ensaiados à flexão, onde foram obtidos os resultados apresentados na Figura 15.

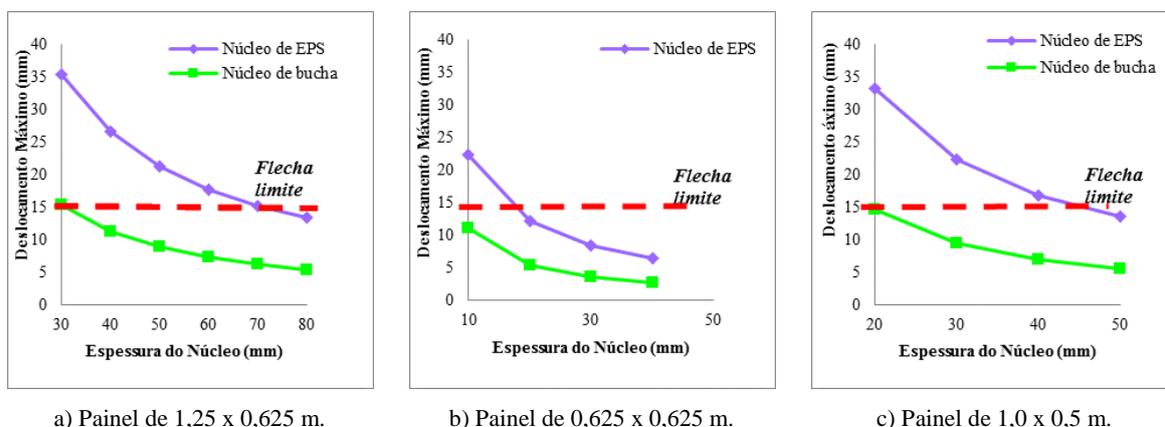


Figura 15: Deslocamentos máximos dos painéis sanduíches obtidos pela simulação numérica.

Os painéis simulados com dimensões de 3,0 m x 1,0 m não apresentaram resultados com espessuras razoáveis que atendessem o deslocamento máximo de 15 mm. As espessuras dos núcleos que satisfazem os

requisitos da norma para os painéis com dimensões de 1,0 m × 0,5 m, constituídos com núcleo de bucha e EPS, são de mínimo 20 mm e 50 mm, respectivamente. Os painéis simulados com dimensões 1,25 m × 0,625 m apresentaram possibilidade de confecção com espessuras a partir de 30 mm para núcleo de bucha vegetal e 70 mm para núcleo de EPS. Os painéis com dimensões 0,625 m × 0,625 m atenderam aos valores exigidos de flecha (15 mm) com espessuras a partir de 10 mm para núcleo de bucha e 20 mm com núcleo de EPS.

A diferença de resultados entre os núcleos de bucha vegetal e EPS, para painéis com dimensão maior que 1 m, revelou o núcleo de bucha como melhor opção, principalmente para painéis com espessuras delgadas, comprovando a maior rigidez desta estrutura. Para os painéis com menor dimensão (0,625 m × 0,625 m) o núcleo de EPS apresenta rigidez adequada. Perante os resultados obtidos, pode-se concluir que é viável a confecção de painéis sanduíches constituídos de compósitos reforçados com tecido bidirecional de fios de rami e núcleos de EPS e bucha vegetal, para aplicação como forro. O uso de bucha vegetal como núcleo e o compósito reforçado com o tecido de rami como faces em painéis, revela uma nova alternativa de aproveitamento dessas fibras para aplicação no setor da construção.

#### 4. CONCLUSÕES

Os compósitos reforçados com tecido bidirecional de fios de rami são adequados para aplicação em faces de painéis, devido às boas propriedades mecânicas, facilidade no processo de moldagem e configuração das fibras igualmente distribuídas em duas direções perpendiculares entre si. Os compósitos com 50% de volume de fibra mostraram-se adequados por apresentar melhores propriedades mecânicas, resistência a tração e módulo de elasticidade de 61,88 MPa e 14,61 GPa, respectivamente. As micrografias dos compósitos mostraram boa compatibilidade entre resina e fibras.

Os núcleos em estudo apresentaram bons resultados, com destaque para a bucha impregnada de resina poliéster, que apresentou-se como ótimo material de preenchimento, devido a sua configuração natural, leveza, excelente propriedade de rigidez e opções de confecção de painéis com dimensões maiores e delgados.

Os estudos do desempenho estrutural dos painéis por elementos finitos revelaram, portanto, que é viável a confecção de painéis sanduíches constituídos de compósitos reforçados com tecido bidirecional de fios de rami e núcleos de EPS e bucha vegetal impregnada de resina. Aplicando o núcleo de bucha vegetal, painéis com comprimento superior a 1m atendem às especificações de normas com espessura total abaixo de 3,5 cm.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES e FAPEMIG pela bolsa de estudos e recursos financeiros para esta pesquisa.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

- [1] ALMEIDA, M. I. A., *Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicação na indústria da construção*, Tese M.Sc., Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.
- [2] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C393/C393M: Standard test method for core shear properties of sandwich constructions by beam flexure, Philadelphia, 2011.
- [3] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3039: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials, Philadelphia, 2008.
- [4] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D638: Standard test method for tensile properties of plastics, Philadelphia, 2010.
- [5] ANGELINI, L. G., LAZZERI, A., LEVITA, G., *et al.*, “Rami (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud.) and Spanish Broom (*Spartium junceum* L.) fibers for composite materials: agronomical aspects, morphology and mechanical properties”, *Industrial Crops and Products*, v. 11, pp. 145-161, 1999.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8082: Espuma rígida de poliuretano para fins de instalação térmica – resistência à compressão, Rio de Janeiro, 1983.
- [7] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11752: Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial, Rio de Janeiro, 2007.

- [8] LEI, W., LEI, W., REN, C., “Effect of volume fraction of ramie cloth on physical and mechanical properties of ramie cloth/UP resin composite”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, v. 16, pp. 474-477, April 2006.
- [9] LEVY NETO, F., PARDINI, L. C., *Compósitos estruturais - ciência e tecnologia*, São Paulo, Edgard Blucher, 2006.
- [10] MATTOSO, L. H. C., PEREIRA, N., SOUZA, M. L., *et al.*, “Utilização de fibras vegetais para reforço de plásticos”, Brasília, EMBRAPA - Produção e Informação, v. 3, pp. 1-4, 1996.
- [11] MONTEIRO, S. N., CALADO, V., RODRIGUES, R. J. S., *et al.*, “Thermogravimetric behavior of natural fibers reinforced polymer composites – An overview”, *Materials Science & Engineering A*, v. 557, pp. 17-28, 2012.
- [12] SATYANARAYANA, K. G., ARIZAGA, G. G. C. WYPYCH, F., “Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers – An overview”, *Progress in Polymer Science*, v. 34, pp. 982-1021, 2009.
- [13] SILVA FILHO, L. C. P., GARCEZ, M. R., *Compósitos de Engenharia de Matriz Polimérica*. In: Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON, ISAIA, G.C. (Org.), In: *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais*, São Paulo, IBRACON, 2010.
- [14] SANJAY, M.R., ARPITHA, G.R., YOGESHA, B., “Study on mechanical properties of natural-glass fibre reinforced polymer hybrid composites: a review”, *Materials today: proceedings*, v. 2, pp. 2959-2967, 2015.
- [15] SOUSA, L.K., MOTTA, L.A.C., SILVA, M.R., “Mechanical properties of ramie reinforced castor oil polyurethane composites”, In: *1st International Conference on Natural Fibers*, pp. 1-5, Guimarães, Portugal, June 2013.
- [16] TAKASHI, N., MATSUDA, I., HIRAO, K., “All-Cellulose composite”, *Macromolecules*, v. 37, pp. 7683-7687, June 2004.